



UNIVERSITAT JAUME I

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
ENGINYERIA MECÀNICA**

**MEJORA DE LA FIABILIDAD DE UN EQUIPO DE
TRANSPORTE EN UNA EMPRESA DEL SECTOR
QUÍMICO, VIABILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA.**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

AUTOR

Cristian Benages Tosca

DIRECTOR

Jesús Ferrer Galindo

Castellón, Noviembre de 2016

A mi familia y a mi novia por su apoyo en estos duros meses de trabajo.

A todos los compañeros del departamento de fiabilidad e inspección de UBE, en especial a Jacobo Marmol y a David Ibars por su paciencia y por su tiempo a la hora de darme ideas e inculcarme conocimientos para la elaboración del proyecto.

A Héctor Mohedo del taller estático de UBE por su involucración en la elaboración del proyecto.

A Domingo, tornero de la empresa, por ayudarme a elaborar los planes de procesos de los diferentes componentes.

A los mecánicos y soldadores del taller estático de UBE que han hecho posible la ejecución del proyecto.

A la empresa UBE por darme la oportunidad de desarrollarme en el mundo profesional de la ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	11
ANEXOS A LA MEMORIA.....	93
ANEXO I: MONTAJE DE LA INSTALACIÓN.....	97
ANEXO II: CÁLCULOS	111
ANEXO III: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES	173
ANEXO IV: GAMA DE MANTENIMIENTO Y PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN	207
ANEXO V: JUSTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS.....	219
ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO	243
PLIEGO DE CONDICIONES	253
MEDICIONES Y PRESUPUESTO.....	267
PLANOS	281

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

1. OBJETIVO	11
2. UBICACIÓN	12
3. ALCANCE.....	14
4. ANTECEDENTES	15
5. NORMATIVA Y REFERENCIAS.....	17
5.1. Normativa de aplicación al proyecto	17
5.2. Software informático utilizado.....	18
5.3. Otras referencias de consulta	18
5.4. Definiciones y abreviaturas	19
6. LA PRODUCCIÓN DE SULFATO AMÓNICO	23
6.1. El producto	23
6.2. La producción de Sulfato Amónico en la unidad 431 de UBE.	24
6.3. Equipos principales que intervienen en el proceso	26
6.4. Transportadores helicoidales CO-431-1,2.....	27
6.5. Modificaciones introducidas hasta la fecha actual para la mejora de la fiabilidad del transportador	31
6.6. Conclusiones.....	32
7. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE TORNILLO SIN FIN	33
7.1. Introducción	33
7.2. Componentes principales de los transportadores helicoidales	34
8. PROPUESTA DE ANÁLISIS Y SOLUCIONES	36
8.1. Disposición de los transportadores en la planta.....	36
8.2. Rodamientos	41
8.2.1. El problema	41
8.2.2. Propuesta de soluciones	44
8.2.3. Solución final	49
8.3. Puntas del eje	52
8.3.1. El problema	52
8.3.2. Propuesta de soluciones	52
8.4. Estanqueidad.....	54
8.4.1. El problema	54
8.4.2. Componentes para el sellado de ejes	55
8.4.3. Solución	58

8.5. Motor y reductor	66
8.5.1. El problema	66
8.5.2. Soluciones propuestas	67
8.5.3. Selección de una nueva reductora	67
8.6. Acoplamiento	70
8.6.1. El problema	70
8.6.2. Soluciones propuestas.	70
8.6.3. Selección del nuevo acoplamiento y de la nueva estrella flexible.....	71
9. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FINAL	73
9.1. Introducción	73
9.2. Modificaciones en la centrífuga M2.....	74
9.3. Modificaciones en el transportador	76
10. PLANIFICACIÓN.....	84
10.1. Introducción	84
10.2. Diagrama de GANTT	87
10.3. Diagrama de recursos.....	89
10.4. Pert	90
11. ESTUDIO ECONÓMICO	91
12. CONCLUSIONES	92

1. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es la mejora de la fiabilidad de un transportador helicoidal de sulfato amónico instalado en una línea de producción de Sulfato Amónico en la planta petroquímica UBE en Castellón.

El presente proyecto se ha realizado por una propuesta del departamento de fiabilidad e inspección de la empresa UBE durante la estancia en prácticas curriculares del alumno.

2. UBICACIÓN

La instalación que va a ser objeto de estudio se encuentra ubicada en la planta de UBE, situada en el polígono industrial El Serrallo S/N, en la provincia de Castellón de la Plana.

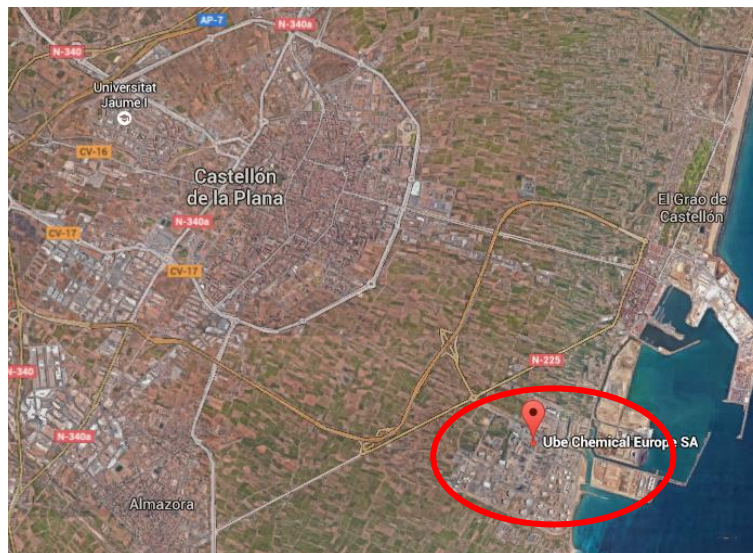


Imagen 1: Situación de la planta de UBE.



Imagen 2: Imagen en 3D de la planta de UBE.

La planta se encuentra situada entre el Grao de Castellón (a tres kilómetros), Almazora (a tres kilómetros) y Castellón de la Plana (a cuatro kilómetros).

Tanto para la recepción de materias primas como para la venta de sus productos cuenta con comunicaciones vía terrestre (por la carretera CS-22 de acceso al puerto) y vía marítima (por una dársena situada junto a la del puerto del Grao de Castellón).

La empresa cuenta con una superficie útil de unos 340000m² y con un total de más de 400 empleados entre personal de oficina, ingenieros y operarios de planta.

3. ALCANCE

En grandes empresas como UBE, que cuentan con más de 1500 equipos para lograr su producción, resulta de gran importancia garantizar la máxima disponibilidad de los equipos para conseguir una continuidad en el proceso y un producto final de calidad. Para ello, es importante disponer además de un programa de mantenimiento adecuado, de un plan de mejora continua de los equipos, es decir, estudiar la causa raíz del fallo de los equipos e implantar mejoras en ellos para que no vuelva a suceder el fallo por esa misma causa.

Adicionalmente, también es muy importante la eficiencia, lograr la producción deseada con el mínimo de recursos posibles.

En el presente proyecto se estudiará la aplicación de diversas mejoras a dos transportadores helicoidales de la unidad 431 (productora de Sulfato Amónico) de UBE. Estas mejoras tendrán como objetivo principal el aumento de la eficiencia y la fiabilidad de la instalación. Como la aplicación de estas modificaciones conlleva un gasto económico, se estudiará la viabilidad técnica y económica.

Algunas, las mejoras aplicadas en la instalación podrán servir de referencia para su uso en otras instalaciones similares de la planta.

4. ANTECEDENTES

El grupo UBE es una entidad nacida en el año 1897 en la ciudad de Ube, Japón. Se dedica a la fabricación de gran variedad de productos para los siguientes sectores:

- Sector químico y plásticos.
- Sector farmacéutico.
- Sector de maquinaria y productos metálicos.
- Sector del cemento y materiales de construcción.
- Sector de la energía y medio ambiente.

El constante crecimiento y éxito de la entidad le ha permitido expandirse por todo el mundo poniendo en marcha diferentes plantas en Europa y América. En 1993 el grupo japonés realizó una inversión en España abriendo la empresa Proquimed, actualmente conocida como UBE Chemical Europe, con sede en Castellón de la Plana.

UBE Chemical Europe se dedica a la elaboración de Caprolactama a partir de Hidroxilamina y Ciclohexanona (también de elaboración propia), siendo la materia prima empleada en la elaboración de Nylon -6. El Nylon-6, junto con el Nylon-66, constituye una gran parte del mercado de fibras sintéticas del mundo. Durante el proceso de elaboración de la Caprolactama, se produce un residuo, el Sulfato Amónico, el cual se trata y se vende como fertilizante para la tierra. A partir de algunos ácidos producidos en el proceso anteriormente descrito, se fabrica 1,6-Hexanodiol, producto utilizado en la industria farmacéutica y de alto valor añadido. También cuenta con varias líneas de producción de 1,5-Pentanodiol (PDL) y Policarbonatodiol (PCD) los cuales se utilizan para la producción de film para envases de alimentación, componentes de automoción y productos de ingeniería de consumo.

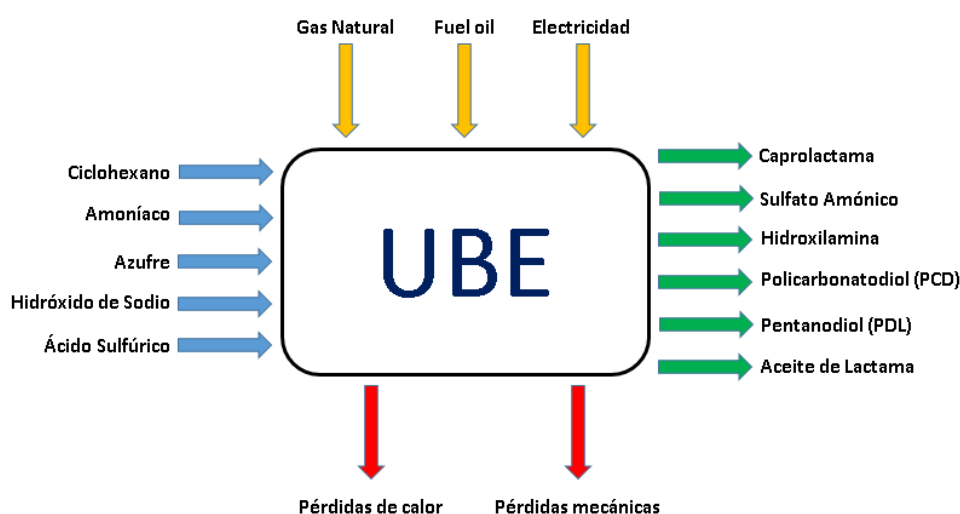


Imagen 3: Diagrama productivo de UBE.

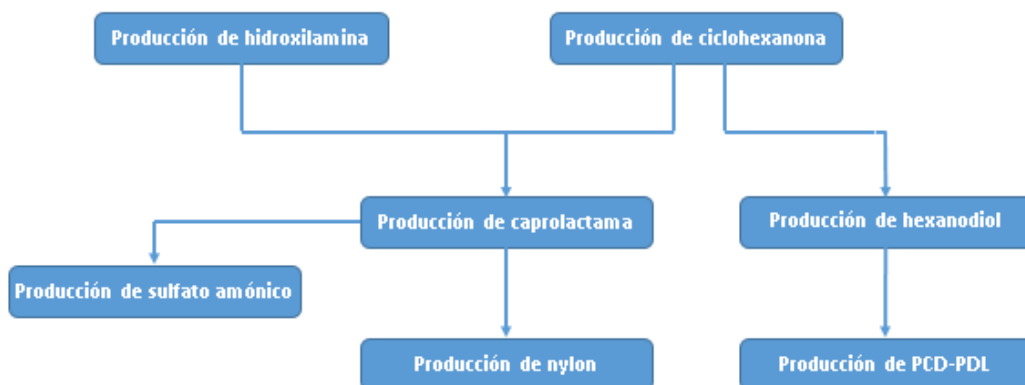


Imagen 4: Esquema del proceso productivo.



Imagen 5: Distribución de la planta de UBE.

5. NORMATIVA Y REFERENCIAS

5.1. Normativa de aplicación al proyecto

- **ISO 281:2007:** Rolling bearings. Dynamic load ratings and rating life.
- **ISO 1101:2012:** Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Tolerances of form, orientation, location and run-out.
- **ISO 6194-1/2/3/5:** Rotatory shaft lip-type seals incorporating elastomeric sealing elements. Part 1: Nominal dimensions and tolerances. Part 2: Vocabulary. Part 3: Storage, handling and installation. Part 5: Identification of visual imperfections.
- **UNE-EN ISO 4017:2015:** Elementos de fijación. Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B.
- **UNE 58205:1971:** Aparatos de manutención continua. Reglas de seguridad particulares de los aparatos para la distribución y el transporte por tornillo sin fin.
- **UNE 58207:1989:** Aparatos de manutención continua para productos a granel. Transportadores de tornillo sin fin.
- **UNE 58224:1988:** Aparatos de manutención continua para graneles. Transportadores de tornillo sin fin. Reglas para el diseño de los accionamientos.
- **UNE 58233:1994 IN:** Aparatos de manutención continua. Código de seguridad de los transportadores de tornillo sin fin. Ejemplo de protección en los puntos de pinzamiento o cizalladura.
- **UNE 58203:1975:** Aparatos de manutención continua. Reglas generales relativas a los aparatos para graneles sólidos o cargas aisladas.
- **UNE 58211:1985:** Aparatos de manutención continua. Código de seguridad. Reglas generales.
- **UNE 58216:1986:** Aparatos de manutención continua. Nomenclatura.
- **UNE 58217:1986:** Aparatos de manutención continua. Código de seguridad. Reglas particulares.
- **UNE-EN ISO 5455:1996:** Dibujos técnicos. Escalas.
- **UNE 157001:2014:** Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- **UNE-EN ISO 5457:2000:** Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- **UNE 1032:1982:** Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- **UNE 1027:1995:** Dibujos técnicos. Plegado de planos.
- **DIN 6885/1:** Sobre chavetas paralelas, diseño del chavetero, etc.

5.2. Software informático utilizado

- **Paquete Microsoft Office:** Word, Excel y Powerpoint.
- **Dassault Systèmes:** Solidworks 2014.
- **Gantt Project 2.6.1 Brno**
- **Computers and Structures:** SAP 2000 V18.
- **Granta Design:** CES EduPack 2015.

5.3. Otras referencias de consulta

- Catálogo general de estanqueidad de EPIDOR para la selección de los retenes y de las juntas toricas y para la elaboración de las camisas y el casquillo de los retenes: http://www.epidor.com/documentos/Epidor_ESTANQUEIDAD.pdf
- Catálogo general HISPANOX para selección de tornillería de acero inoxidable: http://www.hispanox.com/downloads/Catalogo_general_Hispanox.pdf
- Catálogo general INDUSTRIAS-ALBERT para la selección y cálculo del acoplamiento flexible de estrella de acero inoxidable: http://www.industrias-albert.com/catalogo/Catalogo_Acoplamientos_Albert_2015.pdf
- Catálogo general LATTY GROUPE para la selección de la empaquetadura: http://www.latty.com/media/latty_catalogue_ves_2015_094915500_1210_2_7012015.pdf
- Catálogo general SKF para la selección de los rodamientos: http://www.skf.com/binary/76-121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf
- Aplicación de la página web de SKF para el cálculo de la vida útil de los rodamientos: <http://webtools3.skf.com/BearingCalc/selectProduct.action>
- Catálogo y manual de mantenimiento del fabricante de reductores CIDEPA-SINCRON tanto para la selección de la reductora como para su mantenimiento: <http://www.cidepa-sincron.com/es/5/mf-moto-reductores-de-sinfin-corona>
- Catálogo de la empresa americana MARTIN SPROCKET & GEAR para información e ideas sobre el diseño de algunos componentes de tornillo sin fin: <http://www.martinsprocket.com/resourcespage/literature-media/catalog/power-transmission-catalog>
- Apuntes de Elasticidad y Resistencia de Materiales.
- Apuntes de Máquinas e instalaciones eléctricas.
- Apuntes de Tecnologías de Fabricación.
- Apuntes de Diseño de Máquinas.
- Apuntes de Materiales.
- Apuntes de Tecnología del Medio Ambiente y Seguridad Industrial.
- Apuntes de Proyectos de Ingeniería.
- Apuntes de Electrotecnia.
- Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

5.4. Definiciones y abreviaturas

SA: El Sulfato Amónico o Sulfato de Amonio es una sal cuya fórmula química es $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ de color blanco y su aspecto es de cristales. Se utiliza como floculante y, además, como un reactivo en purificación de ácidos (siempre que las proteínas sean solubles en medio básico y con presencia de NaCl o cloruro potásico) para precipitar proteínas solubles. En bioquímica se usa para precipitar fraccionadamente las globulinas que no son solubles en agua y para diferenciarlos de los glóbulos rojos. Las globulinas se pueden redisolver para hacer subsecuentes análisis, como puede ser la extracción de una proteína en particular por cromatografía de afinidad con NaCl. El Sulfato Amónico es excelente componente para la llamada precipitación fraccionada, porque, entre otras cosas, hace que el agua compita entre la disolución de esta sal o de la proteína (formada por muchos grupos carboxilo y amonio), causando que precipite la proteína con tres aminoácidos. En agricultura es usado ampliamente tanto para la fertirrigación como para la aplicación directa al suelo por productores de hortalizas. El Sulfato Amónico a menudo se obtiene como un producto residual de la fabricación del Nylon. La frecuencia de deficiencias de Azufre promueve su mayor uso como fuente de Nitrógeno y de Azufre.

Demister: Es un dispositivo empleado en tecnología de procesos e ingeniería química para la separación de un líquido, presente en forma de finas gotas, de una corriente de vapor o gas que lo arrastra, mediante la aplicación del fenómeno físico de la coalescencia. Este tipo de equipos están constituidos por una estructura en forma de laberinto para inducir cambios de dirección y velocidad del fluido permitiendo la agregación de las gotas de líquido hasta que su tamaño y peso provocan su separación por gravedad. Los demister se ubican frecuentemente en la parte superior de una torre de separación por la que asciende la corriente a tratar.

NBR: El caucho nitrilo de butadieno constituye una familia de copolímeros insaturados de 2-propanonitrilo y diversos monómeros de butadieno (1,2-butadieno y 1,3-butadieno). Aunque sus propiedades físicas y químicas presentan diferencias en función del contenido en nitrilo del polímero, esta forma de goma sintética suele ser resistente al aceite, al combustible y a otras sustancias químicas (a mayor contenido de nitrilo del polímero, mayor resistencia a aceites, pero menor flexibilidad del material). Se utiliza en los sectores aeronáutico y de la automoción para la fabricación de mangueras para aceite y combustible, juntas y ojales, así como en el sector nuclear para la fabricación de guantes protectores. La capacidad del NBR para soportar temperaturas entre -40°C y $+180^\circ\text{C}$ la convierte en el material idóneo para aplicaciones aeronáuticas. El nitrilo butadieno también se utiliza para la fabricación de productos moldeados, calzado, adhesivos, selladores, esponjas, espumas expandidas, alfombrillas y otras capas de revestimiento.

PTFE: El politetrafluoroetileno es más conocido por su nombre comercial teflón. Es un polímero similar al polietileno en el que los átomos de Hidrógeno han sido sustituidos por átomos de Flúor. La propiedad principal de este material es que es prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas excepto situaciones muy especiales. Esto se debe básicamente a la protección de los átomos de Flúor sobre la cadena carbonada. Tiene un muy bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad, manteniendo además sus condiciones en ambientes húmedos. Es utilizado para múltiples aplicaciones como las siguientes:

- Revestimientos de aviones, cohetes y naves espaciales debido a las grandes diferencias de temperatura que es capaz de soportar.
- En elementos articulados por su capacidad antifricción para eliminar el uso de lubricantes.
- En medicina se utiliza para prótesis aprovechando que no reacciona con sustancias o tejidos y es flexible y antiadherente.
- En electrónica como revestimiento de cables o dieléctrico de condensadores por su gran capacidad aislante y resistencia a la temperatura.
- En pinturas y barnices.
- En muchas aplicaciones más.

MTBF: El significado de sus siglas es: Mean Time Between Failures. Se trata del promedio de tiempo entre fallos de un sistema.

PR: En todo proyecto en el cual se espera la característica de “rentable”, se tiene como premisa la recuperación de la inversión, el tiempo que se demore en recuperar el dinero invertido. Cuanto más corto sea el periodo de recuperación de la inversión, menos arriesgado será el proyecto.

Lactama: Las Lactamas son amidas cíclicas obtenidas por condensación, con pérdida de agua, de una molécula que contiene grupo ácido y amino.

Aguas LC: Aguas de proceso que contienen Lactama.

Slurry: Es una mezcla de partículas de sólidos con un fluido que se utiliza a menudo como una forma conveniente de transporte, ya que puede ser bombeado si las partículas de sólido no son demasiado gruesas.

Aguas madres: Se llama aguas madres a la solución en la que originariamente se obtiene un precipitado. Este se separa de sus aguas madres mediante filtración.

Reactor: Recipiente en cuyo interior se produce una reacción química, estando diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible.

Eyector: Bomba que sirve para expulsar un fluido a gran velocidad mediante la corriente de otro fluido.

H₂SO₄: Conocido como Ácido Sulfúrico, se trata de un oxiácido formado por dos átomos de hidrógeno, un átomo de azufre y cuatro átomos de oxígeno. Se presenta como un líquido viscoso incoloro e interviene en diferentes concentraciones en las siguientes aplicaciones:

- Fertilizantes.
- Industria petroquímica.
- Explosivos.
- Detergentes.
- Industria de madera y papel.
- Tratamiento de pieles.
- Baterías.

HVOF: Las siglas HVOF significan Hight Velocity Oxy-Fuel. Se trata de un procedimiento o técnica de la proyección térmica. Consiste en proyectar partículas que son fundidas en un proceso de combustión y posteriormente aceleradas en una tobera convergente-divergente logrando velocidades superiores a la velocidad del sonido. La alta energía cinética de las partículas en el momento de impacto produce recubrimientos densos y resistentes, mientras que el poco tiempo de resistencia de la partícula en la llama (microsegundos) disminuye la cantidad de óxidos o efectos negativos para la composición química del material a proyectar.

N₂: Se trata de la fórmula molecular del Nitrógeno, gas que constituye el orden del 78% del aire atmosférico. Es un gas inerte, no metal, incoloro, inodoro e insípido. Entre las aplicaciones comerciales del nitrógeno se puede destacar las siguientes:

- Obtención del amoníaco por el proceso de Haber. El amoníaco se emplea con posterioridad en la fabricación de fertilizantes y Ácido Nítrico.
- En la manufactura y procesos de fabricación, específicamente en el ensamblaje de componentes metálicos.
- Se utiliza por su baja reactividad como atmósfera inerte en tanques de almacenamiento de líquidos explosivos, durante la fabricación de componentes electrónicos, etc.
- El Nitrógeno líquido, producido por destilación del aire líquido, se usa en criogenia, ya que a presión atmosférica condensa a -195,8°.

AS: Las siglas AS significan Ammonium Sulfate, es decir Sulfato Amónico.

Detector inductivo: Se trata de una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto.

FPM: También conocido como vitón, es un fluoroelastómero obtenido de la derivación del caucho sintético y el fluoropolímero elastómero, el cual se utiliza para el moldeo y la extrusión. Este elemento posee diversas características que lo hacen uno de los materiales con mayor elasticidad y resistencia para distintas aplicaciones, por ejemplo:

- Posee una resistencia a fluidos de alta agresividad.
- Aguanta temperaturas altas de entre -25°C a más de 220°C .
- Tiene buena resistencia a la deformación.
- Posee una excelente retención a la fuerza de sellado.
- Excelente retención a la dureza original del diseño.
- Alta resistencia a aceites, lubricantes y combustibles.
- Ofrece alta compatibilidad con agentes ácidos y alcalinos.
- Resiste radiaciones.

Estas características lo convierten en un material excelente para las siguientes aplicaciones:

- Se emplea para la fabricación de retenes, válvulas, juntas... debido a que posee un especial rendimiento contra productos químicos agresivos.
- Fabricación de equipos de buceo.
- Fabricación de mangueras para tuberías.
- Otras muchas aplicaciones.

Aramida: La palabra aramida es una abreviación del término “aromatic polyamide” (poliamida aromática) y designa una categoría de fibra sintética robusta y resistente al calor. Las aramiditas se utilizan para fines militares, como pueden ser compuestos balísticos o protecciones personales, y en el campo aeroespacial. Las cadenas moleculares de las fibras de aramida están altamente orientadas en el eje longitudinal, lo que permite aprovechar la fuerza de sus uniones químicas para usos industriales.

Contacto NO: Un contacto eléctrico es un componente del circuito eléctrico que se encuentra en interruptores eléctricos. Se compone de dos piezas de metal eléctricamente conductoras por las que circula corriente eléctrica según se estén tocando o estén separadas. Un contacto del tipo NO es un contacto normalmente abierto, es decir, no deja pasar la corriente mientras el dispositivo que lo hace funcionar se encuentra en reposo.

Contacto NC: Un contacto eléctrico es un componente del circuito eléctrico que se encuentra en interruptores eléctricos. Se compone de dos piezas de metal eléctricamente conductoras por las que circula corriente eléctrica según se estén tocando o estén separadas. Un contacto del tipo NC es un contacto normalmente cerrado, es decir, deja pasar la corriente mientras el dispositivo que lo hace funcionar se encuentra en reposo.

6. LA PRODUCCIÓN DE SULFATO AMÓNICO

6.1. El producto

El Sulfato Amónico producido en UBE es un fertilizante químico de uso agrícola creado para ser distribuido uniformemente en el terreno cultivado a través de fertilizadoras mecánicas, manualmente, etc.

Es la fuente más accesible de Nitrógeno de baja concentración y Azufre, por lo que está recomendado para cultivos que extraen grandes cantidades de Azufre en el suelo como lo son los cultivos forrajeros (pastos y alfalfa), hortalizas (crucíferas, cebolla y ajo), cereales (trigo y cebada) y gramíneas (maíz, sorgo y caña de azúcar), etc.

Algunas de las características del sulfato amónico producido en la unidad 431 de UBE son las siguientes:

- Composición: contenido en N_2 : 21%
- Acidez libre: 0,05% (como H_2SO_4) máximo.
- Humedad máxima: 0,45
- Aspecto: Cristales de 1mm de color blanco, sueltos, capaces de fluir libremente y libres de impurezas visibles.



Imagen 6: Aspecto que presenta el Sulfato Amónico producido en la unidad 431 de UBE.

Algunas de las ventajas del uso del Sulfato Amónico como fertilizante son las siguientes:

- Contiene Nitrógeno (N) y Azufre (S), nutrientes esenciales que tienen una relación muy estrecha en el papel nutricional de la planta y/o cultivos. Esto se debe a que ambos nutrientes son constituyentes de las proteínas y están asociados con la formación de la clorofila.
- El Nitrógeno 100% en forma de Amonio (NH_4), la forma más susceptible a pérdidas por lavado, desnitrificación y volatilización.
- Azufre 100% en forma de Sulfato, la única forma de Azufre inmediatamente disponible para las plantas.
- Favorece un crecimiento rápido, aumenta la calidad, el rendimiento y la rentabilidad de los cultivos.

- Recomendable su aplicación en suelos de PH alcalino de origen calcáreo.
- Cada tonelada contiene 450 Kg de nutrientes esenciales.
- Aumenta la disponibilidad del Fósforo.
- Aumenta la disponibilidad de los micronutrientes.

6.2. La producción de Sulfato Amónico en la unidad 431 de UBE.

El objeto de la unidad 431 es la neutralización con Amoniaco gas (o solución amoniacal) del Ácido Sulfúrico total contenido en el Sulfato de Lactama proveniente de U-422, separándose por una parte aceite de Lactama y por otra, el Sulfato Amónico, que se cristaliza y se comercializa directamente como producto final.

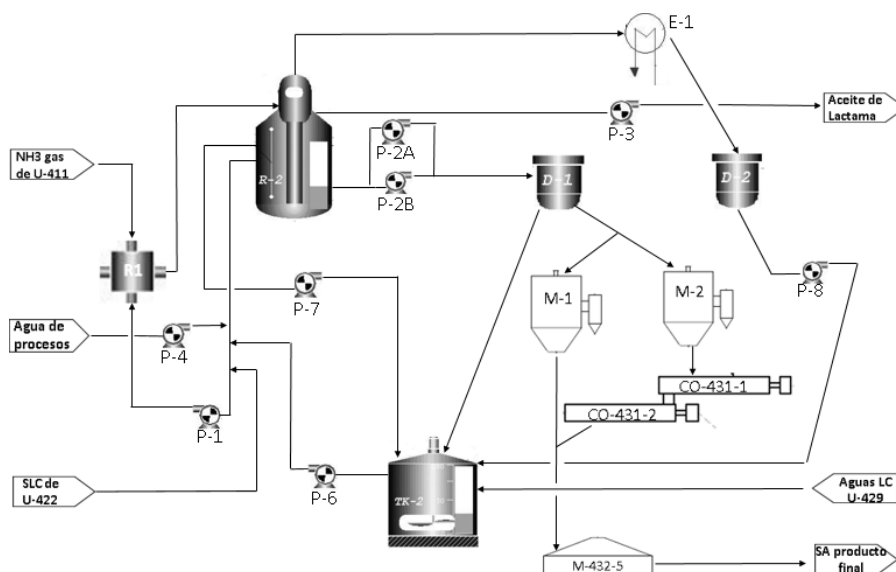


Imagen 7: Diagrama de flujo simplificado de la fabricación de Sulfato Amónico.

Esta reacción de neutralización es fuertemente exotérmica, por lo que se produce una cantidad importante de calor que debe ser eliminada por evaporación de agua, lo que hace preciso un aporte de la misma. Esta alimentación de agua se realiza mediante el reciclo de los condensados de proceso y aguas lactámicas procedentes del tanque TK-429-5, además de un aporte adicional de agua de procesos. En caso de neutralizarse con solución amoniacal, una importante parte del agua a evaporar es alimentada como solución, reduciéndose notablemente el agua de procesos.

La solución de Sulfato de Lactama junto con las aguas madres del TK-2, así como el Amoniaco se envían al reactor mezclador R-1 donde se mezclan y reaccionan en contacto con una gran cantidad de producto recirculado. La mezcla así formada, pasa a la cámara de evaporación del cristalizador, donde el calor de la reacción es disipado por evaporación de agua. La solución resultante pasa entonces a la parte inferior (cámara de suspensión) por medio del tubo central, y entra en contacto con el lecho de cristales presente. La concentración y la geometría de este lecho están concebidas para que se produzca las mejores condiciones para el crecimiento cristalino.

Las aguas madres son tomadas de nuevo desde la parte superior del recipiente de suspensión y se recirculan a través de la bomba P1. Esta bomba es la que proporciona la recirculación más grande de toda la unidad, que es necesaria para absorber el calor de la reacción de neutralización y para procurar una agitación muy vigorosa en el fondo del reactor, y facilitar así la nucleación de los cristales. El tanque TK-2 recibe un aporte de aguas madres procedente de la parte superior de la cámara de suspensión de R-2 (a través de la bomba P-7), que tiene como finalidad eliminar los finos. Además recibe el aporte de agua que es necesario evaporar para disipar el calor de reacción, que se realiza en forma de los condensados producidos en el proceso, y de una alimentación adicional de agua de procesos si fuera necesario y de aguas lácticas procedentes de la U-429. En este tanque se realiza una buena disolución de los finos no centrifugados y se asegura un reciclaje de líquido no saturado hacia el cristalizador.

Los vapores que provienen de la superficie de evaporación son en primer lugar limpiados de partículas, pasando a través de un demister y después enviados a un condensador de superficie E-1. La unidad se mantiene bajo vacío mediante la extracción de los incondensables por un grupo de eyectores alimentados por vapor de alta o media presión (J-1).

Los cristales son extraídos bajo la forma de “slurry” que contiene alrededor de un 30 a 35% en peso de fase sólida. A fin de obtener los mejores resultados en la centrífuga M-1 y M2, el “slurry” se alimenta previamente al espesador D-1 o D-3 respectivamente, en el que, por propia fuerza centrífuga, el cristal queda pegado a las paredes, mientras que parte del líquido pasa una malla metálica y se recupera en el tanque de aguas madres TK-2. Se consigue así, a la salida del espesador, que la corriente lleve un 50% en peso de fase sólida, que es la que se alimenta a las centrífugas M-1 ó M-2, y de ésta al secador y, posteriormente, a las cintas transportadoras que trasladan el producto final al almacén. La descarga de la centrífuga M-2 hacia el secador se hace mediante los transportadores CO-1 y CO-2, los cuales serán objeto de mejora en el presente proyecto.

Finalmente, el Aceite de Lactama resultante de la reacción, se retira de la parte superior de la cámara de suspensión mediante la bomba P-3. El caudal de Aceite de Lactama extraído, junto con un pequeño porcentaje de Sulfato Amónico (5/10 % del total enviado por las P-3ª/B) se recibe en la U-422 donde se mezcla con el Sulfato Amónico que procedente del D-422-3 es recirculado para evitar obstrucciones por cristalización de Sulfato Amónico.

6.3. Equipos principales que intervienen en el proceso

EQUIPO	FUNCIÓN
R1	Reactor mezclador.
R2	Cristalizador.
D1	Espesador tipo ciclón-tamiz que concentra “slurry” de 30% a 50% en peso.
D2	Tanque de aguas madres. Recoge condensados del tren de condensación.
TK2	Tanque de aguas madres.
M1,2	Centrífugas para secar el SA.
CO-431-1,2	Transportadores helicoidales de SA.
M-432-5	Secador de SA.
E1	Condensación de vapores de proceso provenientes de R-2.
P1	Bomba de recirculado al cristalizador R-2.
P2-A,B	Bomba de lodos al espesador D-1.
P3	Bombas de aceite de Lactama.
P4	Bomba tanque fondo cristalizador.
P6	Bomba de aguas madres.
P7	Bomba de envío finos a TK-2.
P8	Bomba de pie barométrico.

Tabla 1: Equipos que intervienen en la producción de Sulfato Amónico de la U-431.

6.4. Transportadores helicoidales CO-431-1,2

La instalación que va a ser objeto de mejora en este proyecto consta de dos transportadores helicoidales (CO-431-1 y CO-431-2) situados en la U-431 (productora de sulfato amónico) de la planta de UBE. En la siguiente imagen se ha resaltado en rojo los transportadores para poder situarlos en el diagrama de flujo del proceso:

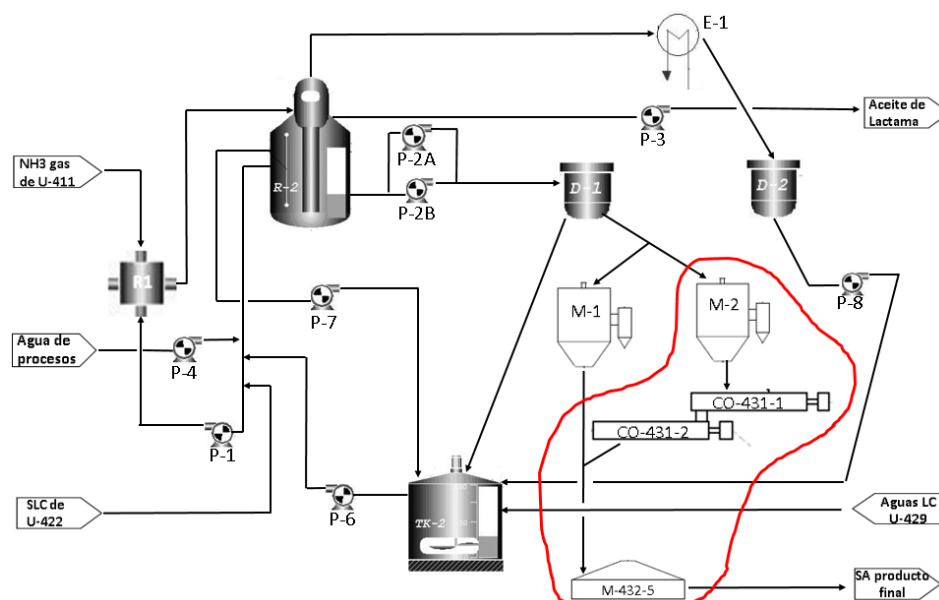


Imagen 8: Situación de la instalación en el diagrama de flujo del proceso.

Estos dos equipos se instalaron en el año 2011, año en el que se instaló la centrífuga M-2. La disposición en planta de la M-2 hacía necesario la instalación de un sistema de transporte del producto desde la salida de la centrífuga hasta la tolva que conduce el Sulfato Amónico al secador M-431-5.



Imagen 9: Instalación actual con la identificación de los equipos.

A continuación se mencionan algunas de las características principales de estos transportadores:

- Transportador CO-431-1:

- Motor asíncrono de Jaula de ardilla de 5,5 KW de potencia de la marca ABB.
- Reductor del tipo sinfín corona de la marca CYDEPA SINCRON modelo MF130 y relación de transmisión $i=40$.
- Velocidad del eje de salida $w=35\text{rpm}$.
- Longitud del transportador de 2300mm, hélice de 300mm de diámetro y 300 mm de paso.
- Construido íntegramente de acero inoxidable AISI 304 en partes exteriores y AISI 316 en partes en contacto con el material a transportar.
- Rodamientos SKF FY60TR.
- Como accesorios de seguridad dispone de detector de giro situado en el extremo opuesto al motor con señal remota de fallo de giro, seta de emergencia con señal remota, protección IP 65, contactos NO+NC de la marca TELEMATIQUE.
- Tapas desmontables para facilitar el mantenimiento y la limpieza, todas ellas con detectores inductivos de la marca CORTINEX en acero inoxidable.

- Transportador CO-431-2

- Motor asíncrono de Jaula de ardilla de 5,5 KW de potencia de la marca ABB.
- Reductor del tipo sinfín corona de la marca CYDEPA SINCRON modelo MF130 y relación de transmisión $i=40$.
- Velocidad del eje de salida $w=35\text{rpm}$.
- Longitud del transportador de 3300mm, hélice de 300mm de diámetro y 300 mm de paso.
- Construido íntegramente de acero inoxidable AISI 304 en partes exteriores y AISI 316 en partes en contacto con el material a transportar.
- Rodamientos SKF FY60TR.
- Como accesorios de seguridad dispone de detector de giro situado en el extremo opuesto al motor con señal remota de fallo de giro, seta de emergencia con señal remota, protección IP 65, contactos NO+NC de la marca TELEMATIQUE.
- Tapas desmontables para facilitar el mantenimiento y la limpieza, todas ellas con detectores inductivos de la marca CORTINEX en acero inoxidable.

Desde su instalación en el año 2011 se han producido numerosas averías que han obligado a dejar la centrífuga fuera de servicio durante varias jornadas.

Haciendo un resumen del histórico de mantenimiento del equipo se puede extraer como conclusión que el gasto de mantenimiento anual del equipo consiste en las siguientes acciones:

Componentes:

Componentes	Coste anual
Sustitución semestral de los rodamientos de los transportadores.	1.400,00 €
Sustitución de las puntas del eje de ambos transportadores con una frecuencia de dos años.	150,00 €
Sustitución anual de los rodamientos y retenes del motor y la reductora.	400,00 €
Saneamiento y pintado del motor y la reductora.	200,00 €
Sustitución semestral de la estrella flexible del acoplamiento.	200,00 €
Sustitución del acoplamiento con una frecuencia de dos años.	200,00 €
Sustitución del motor y la reductora con una frecuencia de cuatro años.	900,00 €
Reparación de las tapas superiores con una frecuencia de dos años.	284,00 €
Sustitución del eje y hélice una vez en seis años.	556,00 €
Sustitución de componentes eléctricos.	100,00 €
TOTAL	4.390,00 €

Tabla 2: Coste anual de los componentes y frecuencia con la que se sustituyen actualmente.

Mano de obra:

Mano de obra	Coste anual
$4 \text{ operarios (mecánico)} \times 4 \text{ horas} \times 22 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \times 2 \frac{\text{reparaciones}}{\text{año}}$	704,00 €
$1 \text{ operario (tornero)} \times 10 \text{ horas} \times 35 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \times 1 \frac{\text{reparaciones}}{\text{año}}$	350,00 €
$1 \text{ operario (electromecánico)} \times 2 \text{ horas} \times 40 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \times 1 \frac{\text{reparaciones}}{\text{año}}$	80,00 €
TOTAL	1.134,00 €

Tabla 3: Coste anual de la mano de obra para el mantenimiento de la instalación.

Por tanto, el coste total del mantenimiento de la instalación teniendo en cuenta los componentes sustituidos y el gasto de la mano de obra es de 5524,00€/año.

Haciendo un desglose por componentes del coste de mantenimiento de la instalación durante los cinco años se ha obtenido lo siguiente:

Componente	Coste
Rodamientos	7.000,00 €
Motor y reductora	4.500,00 €
Eje y hélice	2.780,00 €
Rodamientos motor y reductora	2.000,00 €
Tapas	1.420,00 €
Saneamiento motor y reductora	1.000,00 €
Estrella flexible del acoplamiento	1.000,00 €
Acoplamiento	1.000,00 €
Puntas del eje	750,00 €
Componentes eléctricos	500,00 €

Tabla 4: Coste del mantenimiento separado por componentes desde la instalación del equipo en el año 2011.



Grafico 1: Coste del mantenimiento separado por componentes desde la instalación del equipo en el año 2011.

6.5. Modificaciones introducidas hasta la fecha actual para la mejora de la fiabilidad del transportador

Desde su instalación en la planta, se han introducido tres modificaciones en la instalación con el objetivo de aumentar el tiempo entre fallos y las paradas imprevistas de la producción. Las modificaciones son las siguientes:

- En el año 2012 se sustituyen las cajas de los rodamientos y los rodamientos de los transportadores por unos más robustos obteniendo una mejora significativa. El tiempo medio entre fallos pasó de 90 días a 180 días aproximadamente.
- En el año 2013 se sustituyeron los ejes y las hélices de ambos transportadores por unos de mayor espesor, medida con la que se consiguió acabar con la rotura de los ejes y el doblado de las hélices.
- Se ha establecido una gama de mantenimiento semestral para reducir al máximo las paradas imprevistas que consiste en realizar las siguientes acciones cada seis meses:
 - 1) Verificar el estado de la carcasa y comprobar que las tapas cierran correctamente. En caso contrario reparar.
 - 2) Comprobar el estado de la hélice y si el ala está doblada avisar al departamento de fiabilidad e inspección.
 - 3) Sustituir el conjunto soporte-rodamientos del transportador siempre.
 - 4) Revisar el acoplamiento y sustituir la estrella desgastable en caso de ser necesario.
 - 5) Probar el motor y reductora y revisar en caso necesario.
 - 6) Sustituir el aceite de la reductora.
 - 7) Si la carcasa del motor o la reductora presentan corrosión, realizar un aviso de avería para su saneamiento y pintado.

6.6. Conclusiones

Una vez analizadas las causas de fallo de los transportadores, se puede observar que el componente más crítico de la instalación son los rodamientos, seguido del motor y la reductora, el acoplamiento, las tapas y las puntas del eje. Los fallos eléctricos son despreciables frente a los mecánicos e incluso pueden ser provocados por un fallo mecánico previo.

Visto esto, se estudiarán los siguientes puntos en el presente proyecto para mejorar la instalación:

- Se buscará una solución para reducir el gasto por mantenimiento de los rodamientos.
- Se tratará de mejorar el problema de los rodamientos del motor y de la reductora, así como la corrosión de ambos componentes sufrida por la carcasa exterior.
- Se estudiará la causa de rotura de las puntas del eje y se buscará una solución para que no vuelva a ocurrir.
- Se sustituirá el acoplamiento por uno de acero inoxidable y se tratará de alargar la vida útil de la estrella flexible.
- Se tratará de solucionar problemas derivados del fallo de los componentes anteriores.

Por tanto, este proyecto se va a basar principalmente en proponer soluciones que aumenten la fiabilidad de los componentes que más fallan. Se analizará cada componente por separado, se determinarán las posibles causas del fallo y se propondrán una o varias soluciones que tendrán como objetivo reducir significativamente los fallos y los costes de mantenimiento de la instalación.

7. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE TORNILLO SIN FIN

En el presente apartado se introducirá el concepto de transportador helicoidal, se nombrarán las piezas principales y se hará una breve descripción de los componentes principales de los transportadores.

7.1. Introducción

Entre los sistemas de transporte de materiales más empleados en la industria, se encuentran los transportadores helicoidales o transportadores de tornillo sin fin. Un transportador helicoidal normalizado está constituido por una hélice soldada sobre un eje que se encuentra suspendido en un canal en forma de U y un motor-reductor situado en uno de los extremos del eje del tornillo hace girar la hélice que arrastra el producto a transportar.

Se trata de un sistema de manipulación y transporte de material extremadamente versátil, que puede ser empleado además de como equipo de trasiego de material, como dispositivo dosificador o como mezclador o agitador.

- Entre las ventajas del uso de transportadores helicoidales están entre otras:
- Sencillez de fabricación con un diseño compacto de fácil instalación.
- Es un sistema de bajo coste.
- Existe la posibilidad de hacerlo hermético para evitar la generación de polvos y posibles exhalaciones molestas.
- Se pueden colocar bocas de carga y descarga en diferentes puntos.
- Bajo mantenimiento.

También presentan desventajas, entre otras:

- Requieren mayor potencia para su accionamiento que otros tipos de transportadores.
- Para usos en configuraciones con diferencia de altura entre la carga y la descarga, este sistema presenta cierta dificultad de sobrepasar ciertas pendientes de elevación, disminuyendo su capacidad de transporte con la pendiente.
- Aplicable para longitudes menores a cincuenta metros.
- Genera un fuerte desgaste en los componentes, por lo que se limita su uso a manipular materiales siempre no abrasivos.
- Puede producir contaminación del material, por lo que empleando este sistema puede existir peligro de deterioro de ciertos productos.
- Limitado a materiales no frágiles o delicados.

7.2. Componentes principales de los transportadores helicoidales

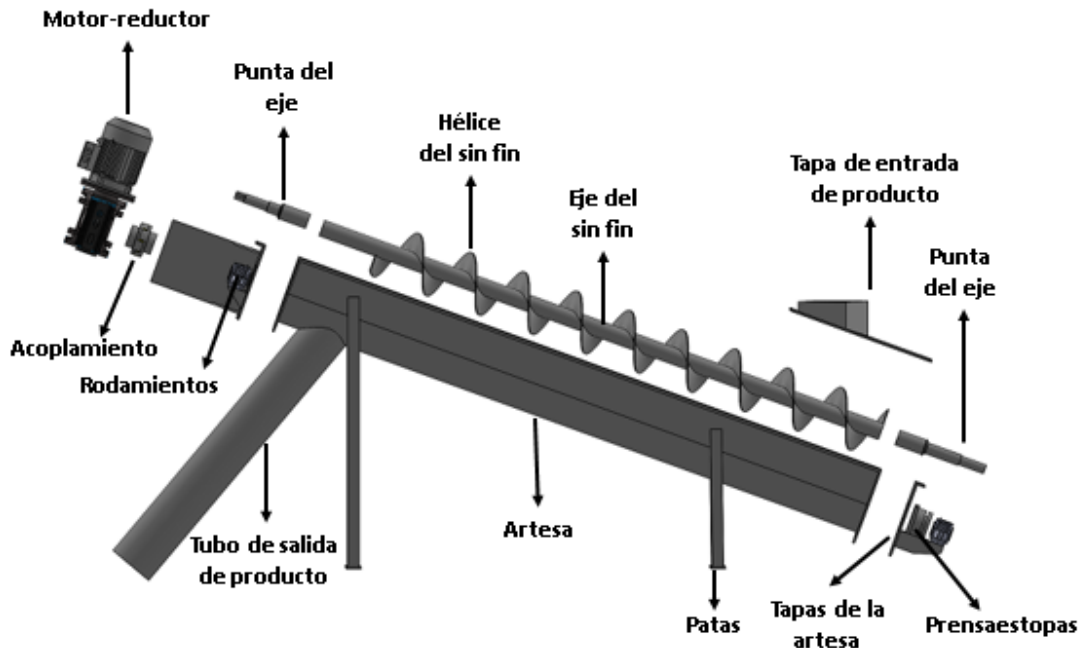


Imagen 10: Componentes principales de un transportador helicoidal.

Artesa: Se trata de las paredes metálicas que cierran y envuelven al transportador y forman la carcasa del tornillo. Sirve para contener el material y separarlo del ambiente exterior. Normalmente los elementos que componen la carcasa de los transportadores de tornillo están fabricados en chapa de acero al carbono de 3 a 6 mm de espesor. Cuando se trata de la manipulación de productos altamente abrasivos o corrosivos, o bien por razones sanitarias (como en el caso de productos alimenticios), las paredes de la carcasa de los transportadores se construyen en acero inoxidable. En la carcasa se colocan tanto las bocas de carga (normalmente situada en la tapa superior) como la de descarga (situada en la artesa), dispuestas de acuerdo con las necesidades del proceso tecnológico. En algunos casos, por necesidades higiénicas, sanitarias o de otra índole, las paredes de la carcasa del transportador son totalmente cerradas y herméticas, configurando una especie de tubo dentro del cual gira el sin fin.

Motor reductor: Para el accionamiento de giro del eje del tornillo es necesario la instalación en el sistema del transportador de un grupo motriz, normalmente de accionamiento eléctrico. El grupo motriz está formado por un motor-reductor con base de fijación sobre una bancada solidaria a la carcasa, efectuándose la unión de la mangueta del reductor con el eje del tornillo sin fin mediante un acoplamiento.

Acoplamiento: Los acoplamientos tienen por función prolongar líneas de transmisión de ejes o conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. Si dos ejes se pudieran alinear perfectamente, podrían ser conectados con dos cubos, bridas o pernos. El propósito fundamental de los acoplamientos flexibles es transmitir el par de torsión requerido desde el eje impulsor al impulsado y compensar el desalineamiento angular, paralelo o una combinación de ambos, con numerosas funciones complementarias como proporcionar desplazamiento axial y así mismo restringirlo.

Rodamientos: Son elementos mecánicos que reducen la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

Prensaestopas: Es un sistema de sellado por compresión utilizado para asegurar la estanqueidad de un sistema compuesto por un eje y un agujero.

Puntas del eje: En el caso de la instalación objeto de estudio en este proyecto, las puntas del eje son prolongaciones macizas del eje. El eje que contiene las hélices es hueco y se le insertan las puntas en cada uno de sus extremos. Los puntas del eje son componentes de mayor resistencia, sobre ellas van instalados los rodamientos, sistemas de estanqueidad, chaveteros, etc.

Hélice del sin fin: Este componente va soldado al eje principal del transportador y al ser accionado transporta el material hacia el otro extremo del equipo. Las hélices se pueden suministrar con sentido de giro a izquierdas o derechas, de mayor o menor diámetro, de mayor o menor paso, etc. La configuración de la hélice dependerá del tipo de material a transportar.

8. PROPUESTA DE ANÁLISIS Y SOLUCIONES

8.1. Disposición de los transportadores en la planta

Lo primero llama la atención cuando se visita la instalación es la presencia de dos transportadores para canalizar el sulfato a una tolva que se encuentra a tres metros de la centrífuga M-431-2. Cuando se aprobó el proyecto de los sinfines de descarga de la U-431 (año 2011) se dio por buena la instalación de dos transportadores dispuestos en serie para transportar el Sulfato Amónico hacia la caída del secador. La decisión de instalar dos transportadores se adoptó por la forma de la tolva de salida de la centrífuga M-431-2, ya que se pensó que el dispositivo de transporte debía de abarcar la totalidad del área de la tolva de salida de la centrífuga.



Imagen 11: Equipos que componen la Instalación actual.

Si se analiza el funcionamiento de las centrífugas, se observa que expulsan el sulfato seco por uno de los lados de la tolva (ver imagen), ya que tienen instalado un componente para canalizar el sulfato seco por un extremo.

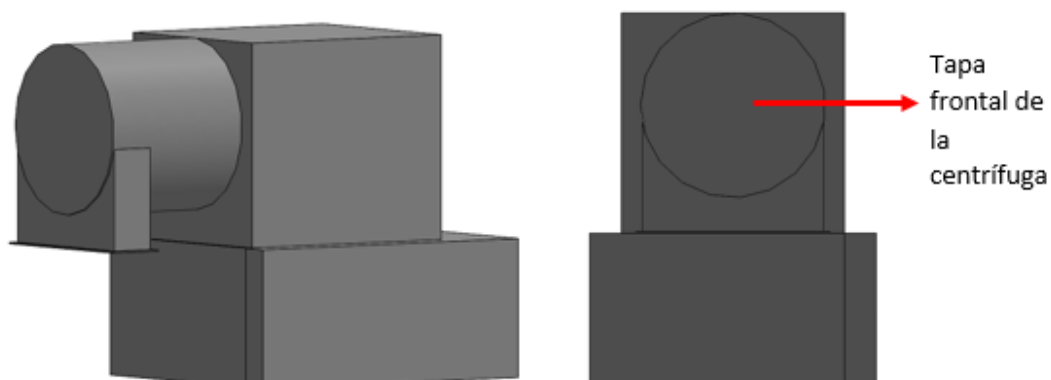


Imagen 12: Centrifuga M-431-2.

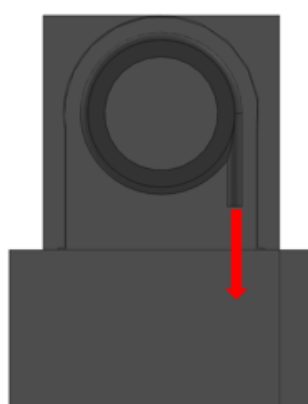


Imagen 13: Alzado de la centrifuga M-431-2 sin la tapa frontal. La flecha roja indica la caída de sulfato.

Visto esto, se propone simplificar la instalación actual, realizando la misma función con un solo transportador dispuesto en diagonal. Para ello se aprovechará el transportador CO-431-2 de 3,3 metros de longitud, disponiéndolo en diagonal e inclinándolo 20° respecto al suelo para poder instalar el motor y la reductora en la parte alta del mismo, sin tener problemas de que contacte con la centrifuga M-1. En la siguiente tabla se hace una comparación con distintas vistas de la instalación actual y la instalación propuesta en el proyecto.

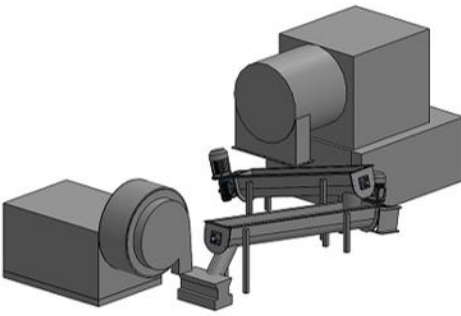
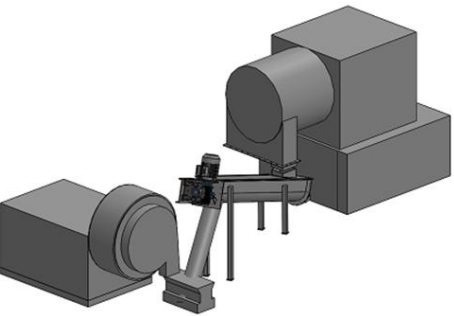
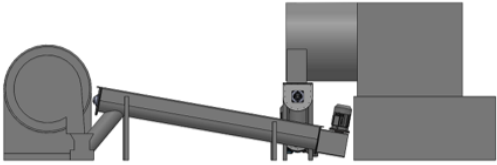
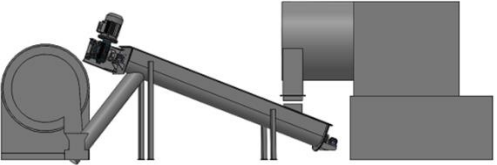
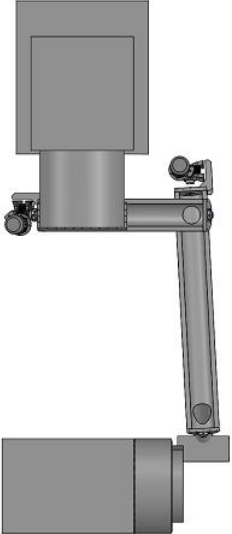
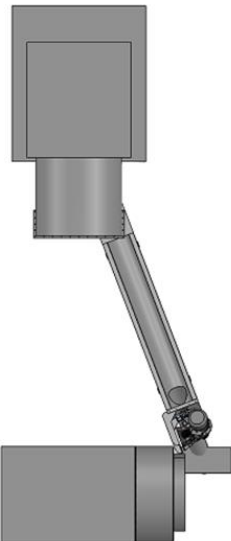
ACTUAL	PROPUESTA
	
Vista 3D	Vista 3D
	
Alzado lateral	Alzado lateral
	
Planta	Planta

Imagen 14: Comparación de la instalación actual vs instalación propuesta.

Para llevar a cabo esta modificación se propone:

- Soldar una chapa en el interior de la tolva de salida de la centrífuga de forma que en un caso remoto en el que el sulfato amónico no saliera por donde debe, este deslizara por la chapa hasta caer en el transportador.

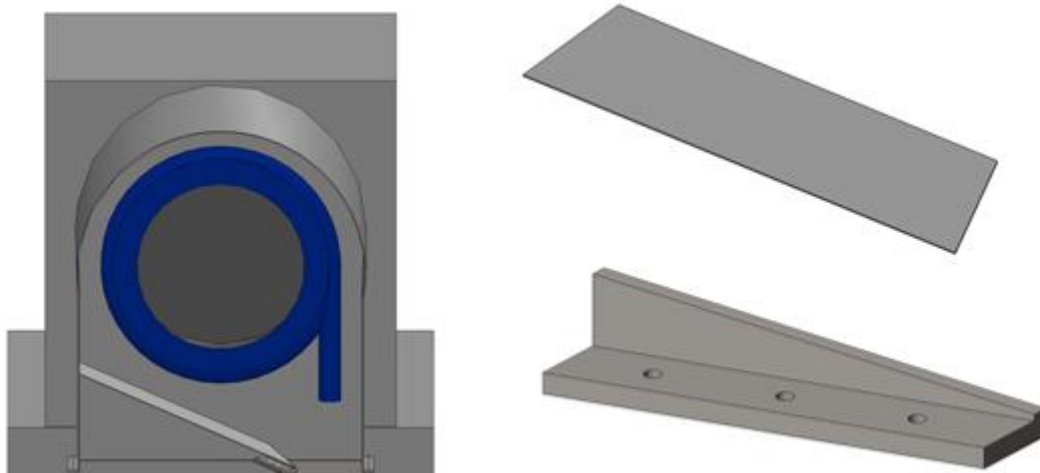


Imagen 15: Detalle de la chapa soldada en el interior de la tolva de la centrífuga y del soporte diseñado para el apoyo de esta.

- Diseñar una nueva tapa para la entrada de Sulfato al transportador.

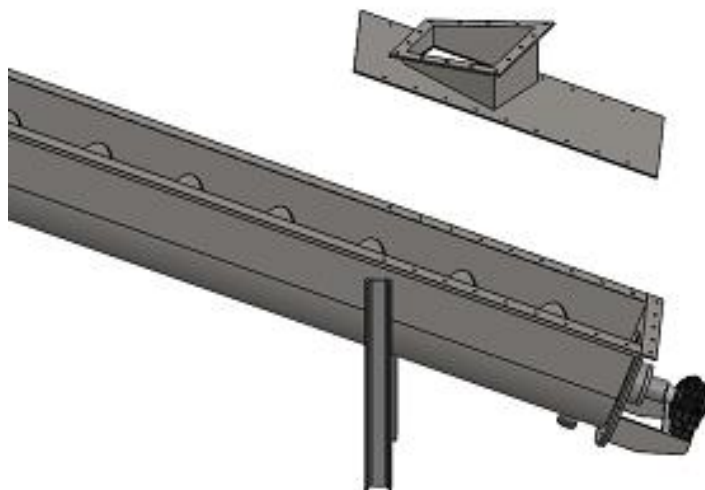


Imagen 16: Detalle de la nueva tapa del transportador.

- Instalar un compensador textil a medida para la unión entre los dos equipos. Diseñar también un componente que sirva de acople entre la tolva de salida de la centrífuga y el compensador textil.

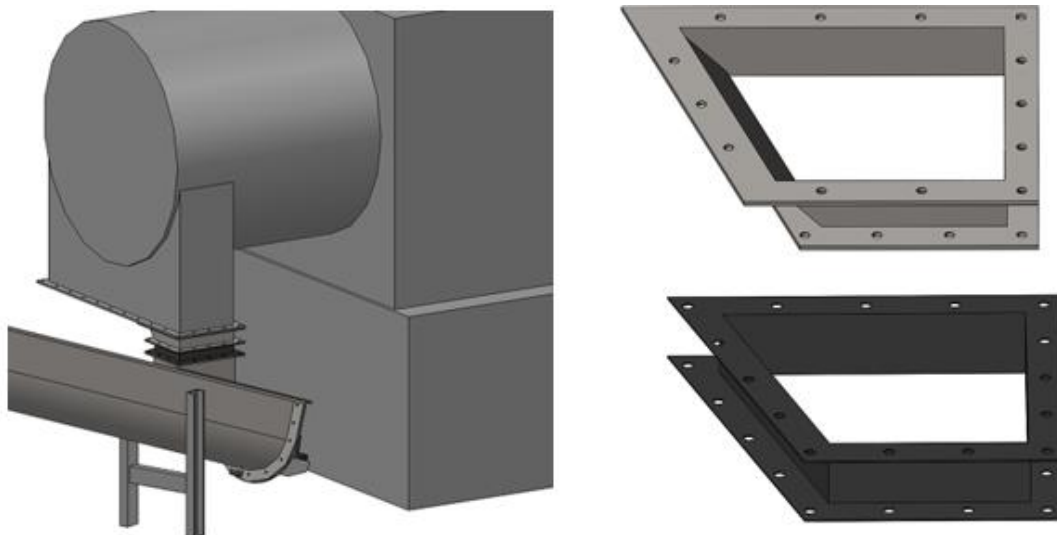


Imagen 17: Detalle de la futura instalación donde se puede apreciar la pieza de acople entre la tolva de salida de la centrífuga y el compensador textil.

Este cambio de disposición, permite realizar una serie de modificaciones en la instalación que anteriormente no se podían efectuar por falta de espacio y que supondrán la solución a la mayoría de los problemas que presenta actualmente. Entre estos cambios que se estudiarán en los siguientes puntos del proyecto, se puede destacar:

- La instalación de los rodamientos en soportes de pie, sin estar en contacto directo con el Sulfato Amónico.
- La instalación del motor y la reductora en la parte alta del transportador, que permite que los componentes ya no estén expuestos a las limpiezas mediante manguera que se dan tres veces al día en la unidad.
- Se gana espacio para poder instalar un prensaestopas en la parte baja del transportador para mejorar significativamente los problemas de estanqueidad.

Además se obtendrán las siguientes ventajas respecto a la anterior instalación:

- Una mayor fiabilidad, que se traduce en menores paradas imprevistas y en consecuencia en menores pérdidas económicas.
- Reducción del consumo eléctrico y del gasto por mantenimiento ya que se pasa de tener dos transportadores a uno solo.
- Reducción del stock de piezas de recambio.

8.2. Rodamientos

8.2.1. El problema

Desde que se instalaron los transportadores helicoidales en el año 2011 se han producido múltiples averías debidas a fallos en los rodamientos. La causa de estos fallos es la llegada de producto (Sulfato Amónico + agua) a los mismos ya que carecen de cierres que les den estanqueidad. Cuando se compraron los transportadores, llevaban instalados unos rodamientos de acero inoxidable SKF 6212 en un alojamiento especial (ver imagen) fabricado para esta aplicación que contenía unos casquillos de nylon y un drenaje para asegurar que no llegara producto a estos. El resultado no fue el esperado ya que se producían fallos por corrosión de los rodamientos cada 2–3 meses aproximadamente.



Imagen 18: Rodamientos iniciales del equipo.

En el año 2012 se decidió sustituir el modelo del soporte y los rodamientos, instalándose unos rodamientos con soporte modelo SKF FY 60 TR. La principal diferencia entre un modelo de rodamientos y el otro era que el nuevo modelo montaba doble retén por lo que estaba más preparado para las condiciones de trabajo requeridas por la aplicación. La consecuencia de esta mejora fue que aumentó el tiempo entre fallos situándose en 5-6 meses. Como cada 6 meses se realiza una parada en la unidad, se decidió sustituir los rodamientos y su soporte en cada parada.

Algunas características del modelo de rodamientos con soporte SKF FY 60 TR son las siguientes:

- Soporte de hierro fundido.
- Rodamientos de bolas de acero al carbono con alto contenido en cromo, lubricados de por vida.
- Sistema de sellado consistente en dos retenes de NBR montados sobre un anillo con prisioneros.

Se trata de un conjunto de soporte + rodamientos diseñados especialmente para entornos agresivos (altas temperaturas, ambientes corrosivos...), capaces de soportar cargas axiales moderadas además de cargas radiales. Además, todas las series de los rodamientos “Y” de SKF están fosfatadas con manganeso para mejorar su protección frente a la corrosión y mejorar las propiedades de funcionamiento.

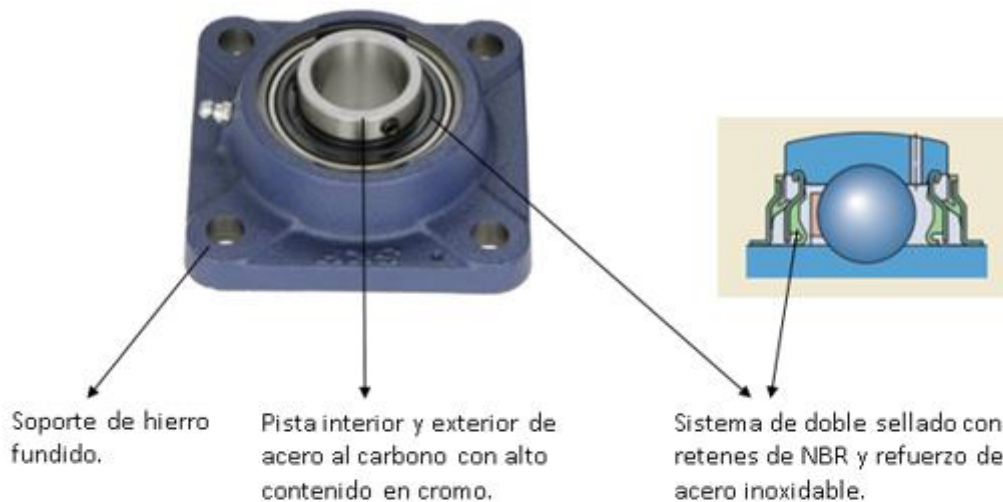


Imagen 19: Características de los rodamientos instalados actualmente y degradación de los mismos con el paso del tiempo.

Como se puede apreciar en la imagen, el material del soporte y de las pistas interior y exterior del rodamiento comienza a verse atacado por la corrosión, hasta que llega un punto en que los retenes ya no deslizan sobre una superficie lisa y acaban desprendiéndose de su posición. Al no disponer de retenes, el sulfato comienza a penetrar en los rodamientos y entra en contacto con las bolas dejando el componente como se aprecia en la imagen. Todo esto ocurre en un periodo máximo de seis meses, por lo que se hace necesario la sustitución de estos cada seis meses máximo.

Por tanto se debe buscar una solución que cumpla con los siguientes requisitos:

- Unidad de rodamientos capaz de soportar los esfuerzos radiales y axiales calculados en el anexo “cálculos” del presente proyecto.
- Rodamientos capaces de soportar desalineaciones del eje por flexión.
- Rodamientos con mayor protección frente al medio externo o bien de un material resistente a la corrosión (de acero inoxidable).
- Fácil instalación para simplificar el mantenimiento.
- Rodamientos con mayor vida útil que los instalados actualmente.
- Mínimo mantenimiento.

8.2.2. Propuesta de soluciones

8.2.2.1. Propuesta 1: Instalar un soporte del mismo tipo que el actual, pero de un material más resistente a la corrosión que el hierro fundido y unos rodamientos de acero inoxidable.

Existen modelos de rodamientos en el mercado con soporte + rodamientos de acero inoxidable especialmente diseñados para empresas químicas, farmacéuticas o alimentarias. El problema es que todas las unidades de acero inoxidable que se encuentran son para ejes de diámetro menor al que se tiene en la máquina. El conjunto más apropiado de acero inoxidable que se ha encontrado para esta aplicación es el siguiente:



Imagen 20: Características de los rodamientos SKF FYWK 50 LTHR.

Las ventajas que puede aportar esta unidad respecto a la anterior son las siguientes:

- El soporte es de un material de compuesto termoplástico con una gran robustez y muy resistente a la corrosión.
- Toda la unidad de rodamientos (bolas, anillos, tornillos prisioneros, pistas interiores y exteriores...) son de acero inoxidable AISI 420, un material que ya hay montado en algunos componentes de máquinas en la unidad de sulfato amónico de UBE y que está dando excelentes resultados frente al poder corrosivo del sulfato amónico.

Como desventajas se puede citar las siguientes:

- Esta gama de rodamientos es para diámetros máximos del eje de 50mm. Al ser 10 mm menos que los que hay montados, se pierde resistencia frente a cargas radiales y axiales en los apoyos, por lo que habría que estudiar si estos rodamientos son adecuados para soportar las cargas a las que va a trabajar.

8.2.2.2. Propuesta 2: Instalar el soporte actual con un recubrimiento de pintura Line-X y sustituir los rodamientos por unos de acero inoxidable.

El recubrimiento Line-X está formado por poliuretanos elastómeros pulverizados de alto rendimiento. No tiene compuestos orgánicos volátiles (VOC) y es 100% sólido. Ofrece un rendimiento excepcional a base de capas protectoras de elastómeros para superficies. Es un producto de uso fácil y de secado rápido (3 segundos), que ofrece características excepcionales de adherencia preparando correctamente la superficie. La formulación de alto rendimiento de X-line produce una película protectora excelente para la resistencia química y como barrera de protección frente a la humedad entre otros.

Algunas de las características de la pintura X-line son las siguientes:

- Excelente resistencia a la abrasión y corrosión de diferentes productos químicos (entre ellos el sulfato amónico).
- Impermeable 100%: evita filtraciones de líquidos.
- Adaptabilidad total a la superficie a recubrir.
- No requiere mantenimiento.
- No se desprende, ni agrieta, ni descama.
- Anticorrosivo.

Este tipo de recubrimiento ya ha sido testado en algunos elementos de maquinaria de la unidad de sulfato amónico de UBE, incrementando significativamente la vida útil de estos.

Por tanto esta opción de mejora consistiría en pintar el soporte del rodamiento actual con pintura Line-X y sustituir la unidad interior de rodamientos por unos de acero inoxidable modelo **ASAHI UC 212 inox** con las siguientes características:

- Pista interior y exterior de acero AISI 440C.
- Bolas de acero AISI 440C.
- Retén de NBR.
- Prisioneros de acero inoxidable.

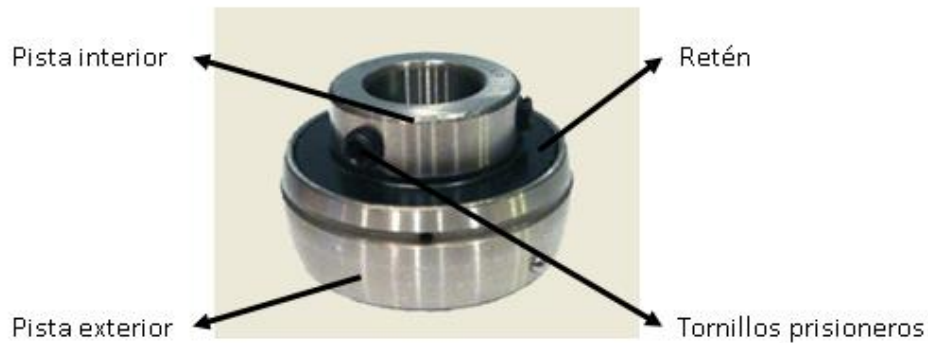


Imagen 21: Componentes del juego de rodillos ASAHI UC 212 inox.

Esta propuesta se va a instalar en los transportadores en la siguiente parada de la unidad. En la imagen se puede observar como ya se tiene preparados el conjunto de soporte SKF recubierto con X-line + el rodamiento de acero inoxidable **ASAHI UC 212 inox**.



Imagen 22: Rodamientos ASAHI UC212 inox + soporte SKF FY 512 M con capa de pintura Line-X.

En cuanto a las ventajas que puede aportar esta opción se encuentran las siguientes:

- Mayor vida útil del soporte debido al recubrimiento.
- Todos los componentes del rodamiento son de acero inoxidable, por lo que será mucho más efectivo contra la corrosión que el acero al carbono que hay instalado actualmente.

Como desventajas se puede citar las siguientes:

- La unidad de rodillos va obturada con un solo retén, lo que podría ser insuficiente ya que va a exponerse a chorros de agua, contacto constante con el sulfato amónico, etc.
- La marca de rodillos ASAHI es una marca desconocida por la empresa y no ofrece el nivel de confianza de SKF.
- El recubrimiento con Line-x no se puede efectuar en el orificio del soporte donde va insertado el rodamiento, por lo que quedará una zona expuesta a la corrosión.



La zona interior del soporte, donde se introduce el rodamiento a presión, no se puede recubrir con X-line, lo que puede ser un problema a largo plazo ya que esta más expuesta al ataque por corrosión.

Imagen 23: Zona del soporte que puede verse atacada por la corrosión con la configuración propuesta.

8.2.2.3. Propuesta 3: Instalar un soporte de pie (mucho más robusto que el actual) y sustituir los rodamientos por unos que se adapten a este soporte.

Para condiciones donde el ambiente es abrasivo y con presencia de corrosión que pudiera afectar a la fiabilidad de la unidad de rodamiento, SKF ha diseñado una unidad basada en ofrecer la máxima eficacia de sellado con una triple obturación (ver imagen). Se trata de las unidades obturadas SKF de rodamientos de rodillos a rótula.

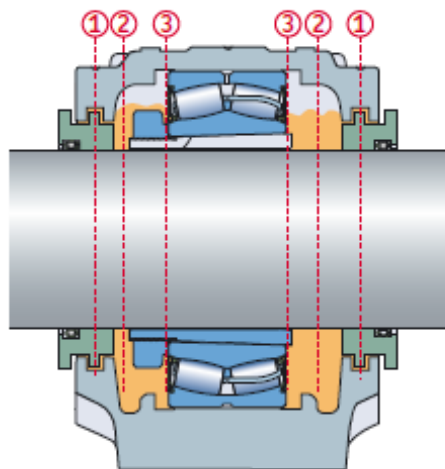


Imagen 24: Triple protección de los rodamientos de la configuración propuesta.

Dichas unidades presentan tres barreras de protección: un cierre con alto nivel de hermetismo para resistir condiciones de ambientes polvorientos y productos químicos (3), una grasa de sellado con alto nivel de resistencia a la corrosión (2) y unas obturaciones de laberinto (1).

La combinación elegida sería la siguiente:



Imagen 25: Componentes seleccionados para la configuración propuesta.

Como ventajas de esta propuesta se puede nombrar las siguientes:

- Esta combinación de soporte + rodamientos ya ha sido instalada en otros equipos de las unidades de producción de sulfato amónico dando excelentes resultados.
- El rodamiento de rodillos cónicos es más robusto que los anteriormente propuestos, soporta mejor las cargas axiales, es autoalineable, y montado en este soporte queda muy protegido frente al producto corrosivo.
- Se trata de una solución testada y que mejora significativamente la vida útil del componente.

Como desventajas:

- El coste de los rodamientos y del soporte es superior al de los rodamientos actuales.
- La instalación de estos rodamientos implica la modificación de las tapas, ya que se requiere de un soporte para poder anclar las nuevas cajeras. También hay que modificar los muñones del eje actual para poder instalar este conjunto.
- Se requiere de 0,3 metros más de espacio axial.

8.2.3. Solución final

Para la selección de la solución final, se utilizará el método multi-criterio. En primer lugar se seleccionan cuatro atributos o características exigibles que, ordenadas de mayor a menor importancia, son:

- Atributo 1: Protección contra la corrosión.
- Atributo 2: Robustez frente a cargas axiales y radiales.
- Atributo 3: Coste.
- Atributo 4: Mantenimiento.

En la siguiente tabla se muestra el conjunto de soluciones propuestas y se presenta una valoración de cada uno de los atributos mencionados anteriormente.

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Soporte resina + rodamientos de acero inoxidable	90%	60%	340	100%
Soporte actual con recubrimiento Line-X + rodamientos de acero inoxidable	90%	70%	400	100%
Soporte de pie + rodamientos de rodillos con triple protección	100%	100%	500	100%

Tabla 5: Valoración de los atributos de cada alternativa.

Ahora, se debe calcular el peso unitario de cada atributo para poder realizar una media ponderada. Para ello, se debe estudiar el nivel de importancia de cada atributo respecto del resto, estableciéndolo de manera numérica según el decisor, y aplicando los valores de la siguiente tabla:

Importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Dominancia débil
5	Fuerte dominancia
7	Demostrada dominancia
9	Absoluta dominancia
2,4,6,8	Valores intermedios

Tabla 6: Niveles de importancia estandarizados.

El nivel de importancia de los atributos mencionados anteriormente es el siguiente:

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Atributo 1	1	3	7	7
Atributo 2	1/3	1	5	5
Atributo 3	1/7	1/5	1	1
Atributo 4	1/7	1/5	1	1

Tabla 7: Nivel de importancia entre los atributos seleccionados.

Ahora, con la siguiente fórmula, se puede calcular el peso unitario de cada uno de los atributos:

$$W_n = \frac{(a_{n1} \times a_{n2} \times \dots \times a_{nn})^{\frac{1}{x}}}{\sum W_n} \quad (1)$$

Donde:

W_n es el peso de la característica seleccionada
 a_{nn} es el valor del nivel de importancia
 x es la cantidad de atributos

Con esto, se puede calcular el peso de cada atributo utilizando la expresión anterior:

$$W_1 = (1 \times 3 \times 7 \times 7)^{1/4} = 3.48$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{3} \times 1 \times 5 \times 5\right)^{1/4} = 1.70$$

$$W_3 = \left(\frac{1}{7} \times \frac{1}{5} \times 1 \times 1\right)^{1/4} = 0.41$$

$$W_4 = \left(\frac{1}{7} \times \frac{1}{5} \times 1 \times 1\right)^{1/4} = 0.41$$

$$W_{total} = \sum W_n = 3.48 + 1.70 + 0.41 + 0.41 = 6$$

Dividiendo los W_n entre el sumatorio, se obtiene el peso unitario de cada atributo.

$$W_1 = \frac{3.48}{6} = 0.58$$

$$W_2 = \frac{1.70}{6} = 0.283$$

$$W_3 = \frac{0.41}{6} = 0.0683$$

$$W_4 = \frac{0.41}{6} = 0.0683$$

Ahora, se valoran los atributos de cada solución con valores entre cero y uno:

Alternativa	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Soporte resina + rodamientos de acero inoxidable	0.9	0.6	0.9	1
Soporte actual con recubrimiento X-line + rodamientos de acero inoxidable	0.9	0.7	0.8	1
Soporte de pie + rodamientos de rodillos con triple protección	1	1	0.5	1

Tabla 8: Valoración de los atributos con valores de 0 a 1.

Por último se calcula el valor que obtiene cada una de las soluciones propuestas, para acometer con la selección de la óptima:

$$S_1 = 0.9 \times 0.58 + 0.6 \times 0.283 + 0.9 \times 0.0683 + 1 \times 0.0683 = 0.82157$$

$$S_2 = 0.9 \times 0.58 + 0.7 \times 0.283 + 0.8 \times 0.0683 + 1 \times 0.0683 = 0.84304$$

$$S_3 = 1 \times 0.58 + 1 \times 0.283 + 0.5 \times 0.0683 + 1 \times 0.0683 = 0.96545$$

De esta manera se puede concluir con que la solución óptima es la solución propuesta 3 (soporte de pie + rodamientos de rodillos con triple protección) por lo que se instalarán este tipo de rodamientos en el nuevo transportador.

8.3. Puntas del eje

8.3.1. El problema

La rotura de las puntas del eje por la zona del chavetero es una de las averías que presentan los transportadores desde su instalación en el año 2011. Con una frecuencia de aproximadamente 2 años es necesario sustituir los muñones por unos nuevos con el consecuente coste económico que ello conlleva. Las causas del deterioro de las puntas del eje son las siguientes:

- Las chavetas y las puntas del eje son del mismo material (AISI 316), por lo que en caso de sobreesfuerzo la chaveta no actúa como fusible, sino que se puede deteriorar cualquiera de los dos componentes. Lo normal en estos casos es que la chaveta sea de un material menos resistente que el de la punta del eje y que en caso de sobreesfuerzo se deteriore la chaveta.
- La longitud de las chavetas (45mm) no es la suficiente para las condiciones de par del equipo. Para ver cómo se ha obtenido este dato se puede consultar el apartado “Cálculos” del presente proyecto.



Imagen 26: Estado de las puntas del eje.

8.3.2. Propuesta de soluciones

Para solucionar este problema se han tomado las siguientes medidas:

- Se ha aumentado la longitud de las chavetas instalando dos chavetas separadas 180°.
- Se ha sustituido el material de las puntas del eje pasando de ser AISI 316 a AISI 2205 (Dúplex). Como el AISI 2205 es un material más resistente, en caso de deteriorarse algún componente, este será la chaveta.

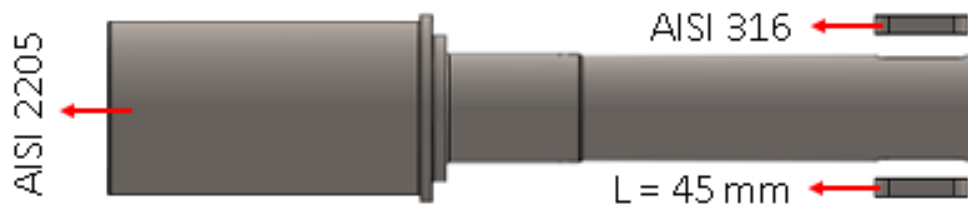


Imagen 27: Nuevas características de las clavetas y de las puntas del eje.

Para más información sobre las dimensiones de las nuevas puntas del eje se puede consultar el apartado “Planos” del presente proyecto.

Para información sobre los cálculos de la longitud de las clavetas y sobre la vida a fatiga y la resistencia a fluencia de las puntas del eje se puede consultar el anexo “Cálculos” del presente proyecto.

Para información sobre los detalles que se han tenido en cuenta para la fabricación de este componente y para consultar el plan de procesos para la fabricación de las puntas del eje se puede consultar el anexo “Diseño y fabricación de los componentes principales” del presente proyecto.

8.4. Estanqueidad

En este apartado se expondrá el problema de estanqueidad que tiene la instalación, posteriormente se presentarán brevemente algunos de los componentes que se están utilizando actualmente en la maquinaria para el sellado de ejes y finalmente se seleccionaran las opciones que más se adapten al sistema que está siendo objeto de estudio.

8.4.1. El problema

Actualmente los componentes que se encargan de no permitir la salida de producto al exterior del transportador son los retenes de los rodamientos. Como se ha observado en el apartado anterior, cuando la pista interior de los rodamientos es atacada por la corrosión, los retenes dejan de deslizar sobre una superficie lisa, con lo que pierden capacidad de sellado. Con el paso del tiempo, los retenes acaban deteriorándose y dejan de realizar su función por completo. Cuando los retenes dejan de actuar, el sulfato amónico entra en contacto con los rodamientos y acaba saliendo al exterior.

Los inconvenientes que esto genera son la pérdida de vida útil de los rodamientos y también pérdidas de producto al exterior, con el consecuente coste económico que esto produce, ya que este producto perdido no se comercializa. Este problema también se traduce en tiempo de trabajo por parte de los operadores que tienen que limpiar la zona cada 8 horas para que no se acumule el sulfato en el exterior.



Pérdidas de producto a
causa del fallo de los
retenes del rodamiento.

Imagen 28: Imagen de la instalación actual donde se aprecia la fuga de producto debido al fallo de los retenes de los rodamientos.

8.4.2. Componentes para el sellado de ejes

Una de las tareas más habituales en el mantenimiento de equipos rotativos consiste en limitar dentro de un rango aceptable las fugas de producto (líquido, sólido, gas) producidas entre la carcasa del equipo y el eje de accionamiento del mismo. Este límite o grado de aceptación será distinto para cada aplicación en concreto y así se utilizará un método de sellado u otro. A la hora de elegir un sistema para la estanqueidad de ejes en rotación, tenemos las siguientes opciones:

8.4.2.1 Retenes radiales

Se aplican para la estanqueidad de ejes en rotación, especialmente en la industria de fabricación de maquinaria, componentes y automóviles. Los medios a estanqueizar pueden ser sólidos, viscosos, líquidos o gaseosos; aunque lo más usual es que se trate de aceites y grasas lubricantes. Existen múltiples tipos de retenes radiales (en cuanto a su forma y materiales de construcción) según la instalación donde se van a instalar.

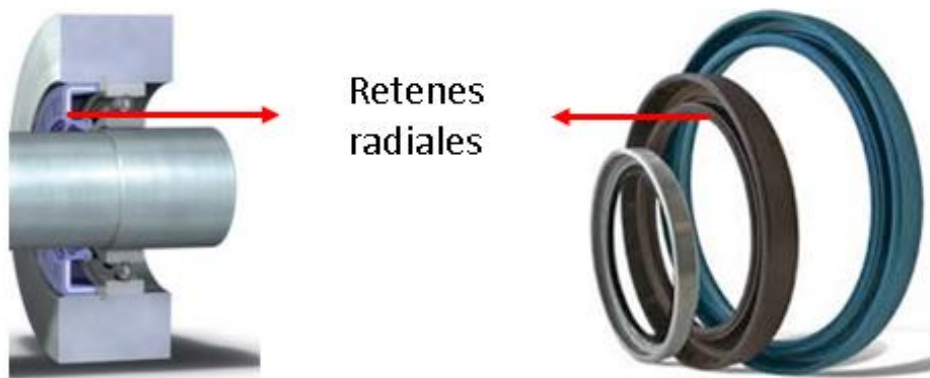


Imagen 29: Imagen de retenes radiales extraída del catálogo del fabricante de retenes EPIDOR.

8.4.2.2 Empaquetaduras

Las empaquetaduras de compresión son los dispositivos de sellado más antiguos utilizados para retener fluidos, gases y otros medios de proceso de baja presión. Son el componente de sellado más usado en la industria actualmente. No solamente sellan un tipo de movimiento, sino cuatro tipos (rotativo, alternativo, helicoidal y oscilante).

Se trata de un cierre radial de contacto muy extendido en todo tipo de bombas centrífugas. Lo forman unos anillos de material especial fabricados en base a hilo trenzado sin amianto, ya sea algodón, sintético, grafitado o de PTFE, y que son introducidos en una caja cilíndrica y prensados axialmente con una brida o prensaestopas hasta formar el cierre sobre el eje de la bomba o sobre el casquillo protector del eje (elemento de desgaste).

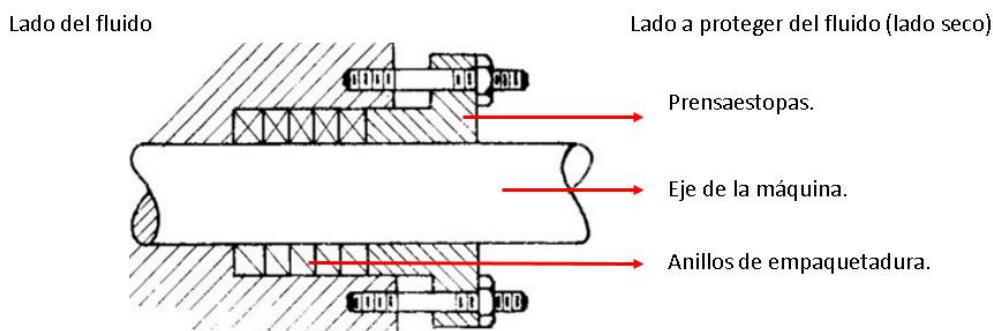


Imagen 30: Imagen donde se puede apreciar dónde se instala la empaquetadura y su funcionamiento.

Dependiendo de la presión de sellado se puede encontrar entre tres y seis anillos de empaquetadura dentro de la caja. Si el líquido alcanza una temperatura de hasta 110° C no será necesario refrigerar la empaquetadura, si la temperatura del fluido supera los 210°C se debe considerar el uso de un anillo de refrigeración o anillo de linterna introducido en la caja de empaquetaduras junto con una recirculación de agua para su refrigeración y sellado. Existen empaquetaduras para aplicaciones muy especiales que pueden llegar a funcionar en equipos rotativos con temperaturas alrededor de 600°C.

En cuanto al mantenimiento de este tipo de sellos, se debe verificar la empaquetadura una o dos veces a la semana. En caso de excesivo goteo, hay que reapretar el prensaestopas mientras este lo permita y volver a verificar al cabo de 10 minutos. Cuando el prensaestopas llegue al final de su recorrido se tiene que volver a empaquetar el equipo en parada.

Sus ventajas frente a otros tipos de sellado es su sencillez, bajo coste y facilidad para realizar su ajuste y sustitución.

Los inconvenientes de la empaquetadura son claros, es imposible su uso con líquidos peligrosos para las personas o el medio ambiente, la vida útil de la empaquetadura es relativamente corta, requieren reajustes frecuentes y en muchas ocasiones requieren de una entrada de refrigeración.



Imagen 31: Ejemplos de empaquetaduras extraídos del catálogo del fabricante de empaquetaduras LATTY.

8.4.2.3 Cierres mecánicos

Son los dispositivos más usados para sellar líquidos en ejes rotatorios. Un cierre mecánico es un dispositivo de sellado consistente en dos anillos en contacto axial a través de sus caras angulares, uno estacionario fijo a la carcasa de la bomba, y el otro giratorio solidario con el eje de rotación de la misma. Este contacto se produce sobre las caras axiales mecanizadas con una gran precisión en cuanto a su planitud y un excelente acabado superficial (muy baja rugosidad).



Imagen 32: Componentes e instalación de un cierre mecánico simple.

El sellado se produce debido al deslizamiento entre las superficies en contacto del sello giratorio y del sello estático. El gran ajuste (holguras de cien milésimas de milímetro) que existe entre el anillo de grafito (anillo estático) y el anillo de metal (rotatorio) evita las fugas del fluido.

El grafito actúa como lubricante y asegura que no se produzca un desgaste excesivo. Este material puede sustituirse por teflón, que también tiene gran resistencia y buenas propiedades lubricantes. Tanto el material de los resortes como el como del anillo rotatorio se eligen en función de las temperaturas y del ataque químico que deben soportar.

Aun siendo un sistema que no debe gotear bajo un funcionamiento normal, el cierre mecánico no es un dispositivo de sellado totalmente estanco, puede gotear unos pocos centímetros cúbicos al día que se evaporarán o transportarán con el líquido sellador.

Las ventajas de los cierres mecánicos frente a las empaquetaduras son las siguientes:

- Fugas despreciables a lo largo de toda su vida de servicio.
- Menor pérdida de potencia por fricción.
- Eliminación del desgaste en el eje o en los manguitos.
- Ausencia de mantenimiento periódico.

Las desventajas de los sellos mecánicos frente a las empaquetaduras son las siguientes:

- Requieren de una instalación y manejo más delicados.
- Son bastante más caros que las empaquetaduras.
- No aptos para equipos con desalineaciones radiales considerables en el eje.

8.4.3. Solución

Una vez introducidas las diferentes posibilidades para el sellado de ejes en rotación, se descarta la opción del sello mecánico, ya que el eje de los transportadores helicoidales sufre desalineaciones radiales (debido a flexión) durante su funcionamiento. Por tanto, para la mejora de la estanqueidad del equipo se propone una combinación de soluciones:

- En la parte alta del transportador se instala un casquillo partido que permite la instalación de retenes. Para este lado del transportador con esta medida será suficiente, ya que el producto sale del transportador antes de llegar a la zona donde se instalarán los retenes.
- En la parte baja del transportador se instala el mismo casquillo partido que en la parte superior y, adicionalmente, se instala un prensaestopas para asegurar más aún la estanqueidad. La razón de dotar al equipo de dos sistemas contra la estanqueidad es que la flexión del eje durante su funcionamiento es considerable, por lo que es posible que en determinados momentos se supere la excentricidad máxima permitida por los retenes. Lo que se pretende es que si el fluido atraviesa la zona de los retenes, se encuentre con la empaquetadura para frenar la fuga.
- Debido al desgaste al que se somete al eje por el continuo rozamiento con los retenes y con los anillos de la empaquetadura, en ambas partes del equipo (alta y baja) se instala una camisa para el eje recubierta de un material duro para prevenir el desgaste de este y para garantizar el correcto funcionamiento de los retenes y de los anillos de empaquetadura.

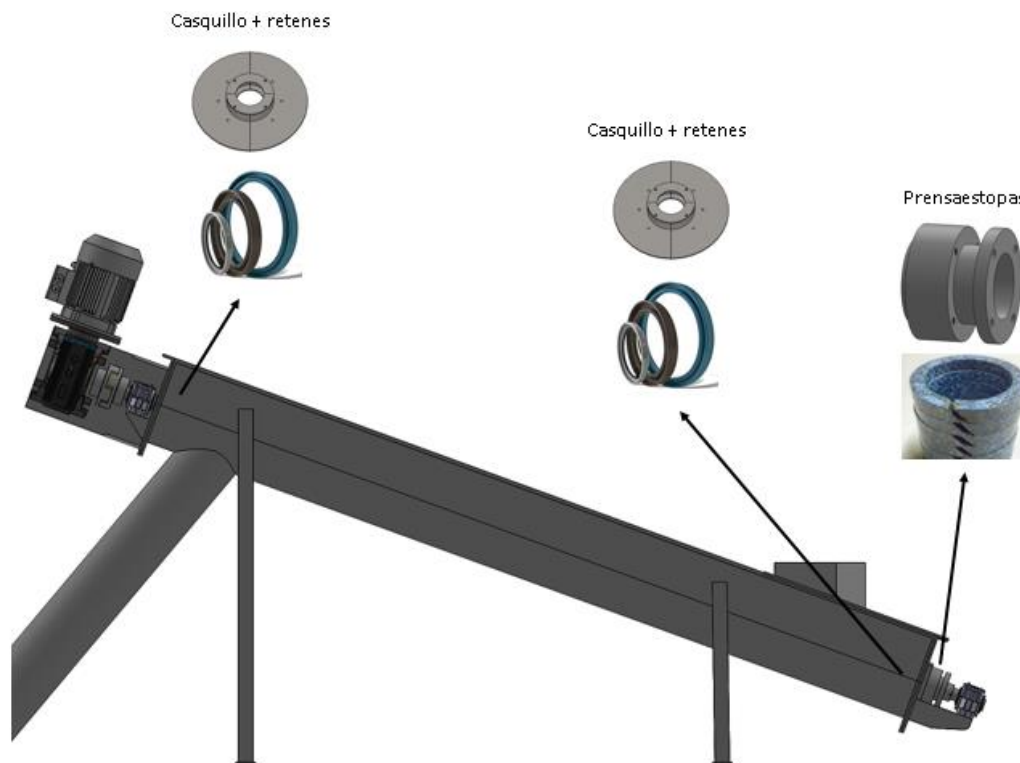


Imagen 33: Elementos propuestos para la mejora de la estanqueidad del equipo.

8.4.3.1. Selección de los retenes y diseño del casquillo para contener los retenes

Para seleccionar los retenes adecuados para esta aplicación se ha recurrido al catálogo de estanqueidad de EPIDOR. En primer lugar se selecciona el retén que más se adapte a las condiciones de trabajo del transportador y al fluido a transportar. Posteriormente se diseña un casquillo para fijar los retenes siguiendo las recomendaciones de tolerancias, dimensiones, acabados... exigidos por el fabricante.

1) Selección del retén más adecuado para las condiciones de trabajo del equipo.

A la hora de seleccionar un retén, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- **Velocidad de rotación:** La velocidad periférica admisible depende del diseño y del material del labio, como consecuencia de la generación de calor en la obturación. El estado de la superficie de contacto y la lubricación, son factores igualmente determinantes en la generación de calor.
- **Temperatura de funcionamiento:** En la eficacia y la duración de los retenes, influyen las temperaturas tanto bajas como altas. Para aplicaciones con temperaturas elevadas o muy bajas se utilizarán retenes con materiales especiales.
- **Espacio disponible:** Es necesario estudiar el espacio disponible para la selección de un retén que se pueda instalar correctamente.

- **Posición:** Es conveniente saber si se van a montar en horizontal o en vertical.
- **Diseño del eje:** La eficiencia de la obturación depende en gran medida del acabado superficial, el material, la dureza y las tolerancias del eje.
- **Resistencia química:** La resistencia química está determinada principalmente por el polímero utilizado en el material, influenciado por la temperatura y los agentes en contacto.
- **Resistencia al desgaste:** El tipo de material es el parámetro que determina la resistencia al desgaste de los retenes, así como las condiciones de lubricación, velocidad y temperatura.
- **Presión:** La presión a la que va a trabajar el retén es muy importante a la hora de seleccionar el retén idóneo.
- **Medio a sellar:** Es necesario saber que el producto con el que va a estar en contacto el retén es compatible con el material de sellado.
- **Vibraciones:** Las vibraciones en el eje también afectan para el correcto funcionamiento del retén.

Las condiciones de trabajo de los retenes a seleccionar para esta aplicación son:

Velocidad de rotación	47 rpm
Temperatura de funcionamiento	45 °C
Material a obturar	Sulfato Amónico + agua
Presión de trabajo	Atmosférica
Espacio disponible	A construir
Posición de montaje	Horizontal
Diseño del eje	A construir
Vibraciones	Ligeras vibraciones

Tabla 9: Condiciones de trabajo de los futuros retenes.

Por tanto, siguiendo el catálogo de EPIDOR, se llega a la conclusión que los mejores retenes para estas condiciones de trabajo son los retenes radiales EPIDOR SIMRIT B2PT con sus especificaciones más importantes mostradas en la siguiente tabla:


 B2PT	Medidas	Diámetro interior	70 mm
		Diámetro exterior	100 mm
		Espesor	10 mm
	Material de construcción	Labio de estanqueidad de PTFE fijado por dos cascos metálicos de acero inoxidable y con una junta tórica para una óptima estanqueidad estática de FPM entre el PTFE y el casco metálico.	
	Campo de aplicación	Medios	Aceites, grasas, agua, ácidos, lejías, disolventes...
		Temperatura	De -130 °C a +200°C
		Presión	Hasta 1MPa
		Velocidad periférica	Hasta 30m/s
	Otras características	Alta resistencia a desgaste del labio de estanqueidad. Apropiado cuando existe baja lubricación y para funcionamiento en seco. Destacada resistencia frente a medios agresivos . Adecuado para trabajar en agua mezclada con detergentes, vapor, refrigerantes y emulsiones. Recomendado para trabajar en transportadores sinfin.	
	Requisitos para el eje donde va instalado	Tolerancia	ISO h11
		Ovalización	IT 8
		Rugosidad	0,2 - 0,4 µm
		Rz	1 - 5 µm
		Rmax	< 6,3 µm
		Dureza	45 - 60 HRC
	Requisitos para el casquillo	Otros	Mecanizado superficial preferiblemente con un rectificado penetrante sin trazas de orientación.
		Tolerancia	ISO H8
		Rugosidad	Rz 6,3 - 16 µm

Tabla 10: Características de los retenes seleccionados extraídas del catálogo del fabricante de retenes EPIDOR.

2) Diseño del casquillo para contener los retenes.

Una vez seleccionados los retenes, se procede a diseñar el casquillo para contener los retenes. El casquillo va instalado en la parte interior del equipo debido a que no se dispone de espacio para instalarlo en la parte exterior. Se diseña un casquillo capaz de contener tres retenes de los seleccionados en el apartado anterior con el objetivo de que sea lo más eficaz posible.

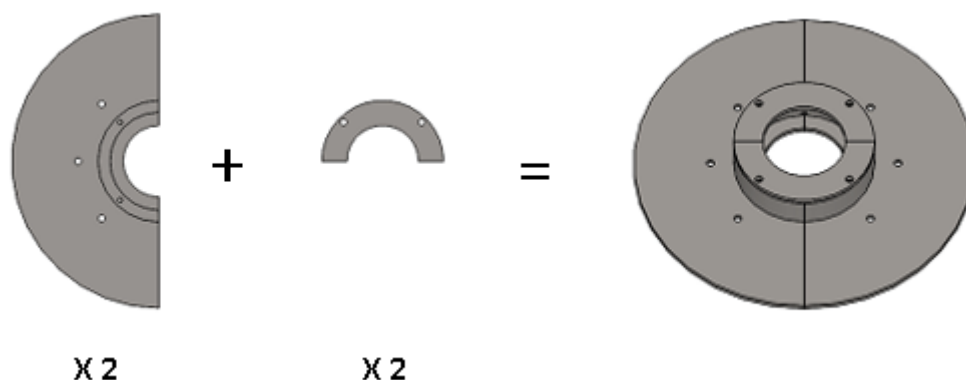


Imagen 34: Imagen de las diferentes piezas que componen el casquillo para contener los retenes.

Para más información sobre el diseño del casquillo se puede consultar el anexo “Fabricación y diseño de componentes” o el anexo “Planos”.

Para información sobre el material seleccionado para este componente se puede consultar el anexo “Justificación y selección de materiales”.

8.4.3.2. Selección de la empaquetadura y diseño de prensaestopas

1) Selección de la empaquetadura más adecuada para las condiciones de trabajo en las que va a actuar.

Para seleccionar la empaquetadura se consulta el catálogo de LATTY, una empresa líder en el sector y especialista en este tipo de aplicaciones. Se busca una empaquetadura capaz de trabajar en las condiciones de trabajo del transportador:

- Fabricada con materiales resistentes a la corrosión y al sulfato amónico.
- Velocidad de rotación baja.
- Rango de temperaturas de trabajo comprendido entre 10°C y 70°C.
- Presión de trabajo atmosférica.

Se ha seleccionado la empaquetadura LATTYflon 4758 de sección cuadrada 10x10 diseñada especialmente para transportadores de tornillo. En la siguiente imagen se puede consultar las características principales de esta empaquetadura.



LATTY®flon 4758

Temperatura: T -220°C a 300°C

Presión: P < 100 MPa (1000 bar)

Velocidad: V < 10 m/s

pH: pH 2 - 14

Eficiente para Aplicaciones Alternativas

Empaquetadura multifibra: las esquinas con fibras de aramida al 100% impregnadas con PTFE usando nuestro procedimiento exclusivo «Filcoat», y las caras con fibras de PTFE al 100%, lubricadas y exentas de silicona. La empaquetadura se trata durante el trenzado con una mezcla de PTFE.

Disponible en anillos matrizados.
Consulte con nosotros.

Bombas alternativas, rotativas, mezcladores, homogeneizadores, transportadores de tornillo.

Productos pulverulentos. Industria química agroquímica, petroquímica, azucarera y alimentaria. Minería y cementeras.

Código	Formato
00100194	4,0 mm
00100195	5,0 mm
00100196	6,0 mm
00101105	6,35 mm
00100198	8,0 mm
00100199	9,5 mm
00100200	10,0 mm
00100201	11,0 mm
00100202	12,0 mm
00100203	12,7 mm
00100204	14,0 mm
00100206	16,0 mm
00100713	18,0 mm
00100714	19,0 mm
00100715	20,0 mm
00100717	25,4 mm

Fabricado exclusivamente bajo pedido. Consultarnos

Imagen 35: Imagen extraída del catálogo del fabricante de empaquetaduras LATTY donde se puede apreciar las características de la empaquetadura seleccionada.

2) Diseño de un prensaestopas.

Una vez seleccionada la empaquetadura, se diseña un prensaestopas que pueda contener 3 anillos de empaquetadura. El resultado del diseño del prensaestopas es el siguiente:

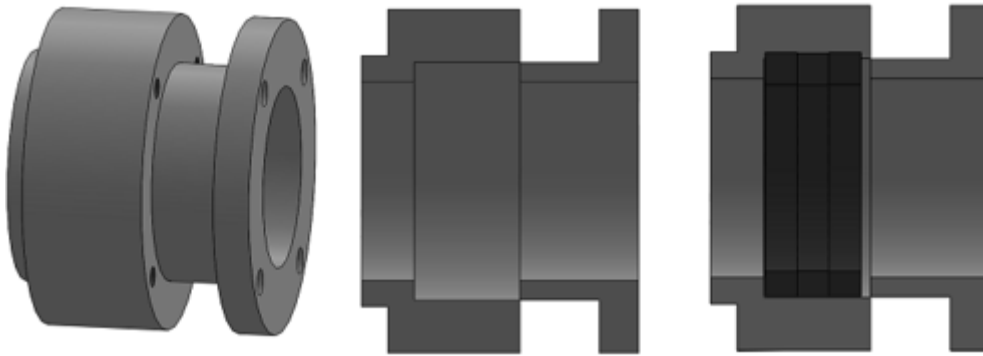


Imagen 36: Prensaestopas diseñado para la instalación.

Para más información sobre el diseño del prensaestopas se puede consultar el anexo “Fabricación y diseño de componentes” o el anexo “Planos”.

Para información sobre el material seleccionado para este componente se puede consultar el anexo “Justificación y selección de materiales”.

8.4.3.3 Diseño de una camisa para el eje

Cuando un componente tiene superficies que deslizan sobre otras y existe un producto corrosivo entre ellas, se crea una situación extrema de desgaste. Esta situación es común en bombas, válvulas, sellos mecánicos...que están trabajando con abrasivos como la arena, agua, etc. Es por esta razón por la que los fabricantes de retenes recomiendan unas propiedades del eje en el que van a deslizar los retenes. Los retenes seleccionados exigen las siguientes propiedades en la superficie del eje con el que van a deslizar:

- Dureza: > 45HRC
- Rugosidad: $R_a = 0,2 - 0,4 \mu\text{m}$; $R_z = 1 - 5 \mu\text{m}$; $R_{\text{max}} \leq 6,3 \mu\text{m}$
- Mecanizado superficial preferiblemente con un rectificado penetrante sin trazas de orientación en la zona de rodadura.
- Si se trata de un material endurecido, la profundidad de la zona endurecida tiene que ser mayor a 0,3mm.
- Poros: No existencia de poros con una anchura mayor 0,05 mm.

Para cumplir estas propiedades, se tiene tres opciones:

- **Opción 1:** Realizar las puntas del eje de un material duro que cumpla los requisitos exigidos por el retén. Esta opción es muy costosa y difícil de conseguir, ya que el fabricante nos exige un nivel de dureza muy alto. Este grado de dureza, solo se consigue con aceros martensíticos. Este tipo de aceros no interesan para un eje, ya que está sometido a fatiga (ciclos de tracción compresión) y para este tipo de esfuerzos interesa tener un material tenaz (capaz de absorber mucha energía) y dúctil en el núcleo para que, en caso de que exista una grieta, esta se propague lentamente y no rompa de golpe.
- **Opción 2:** Realizar las puntas del eje con un material dúctil y por tanto menos duro, que resista la corrosión y recubrir las zonas de desgaste con un material más duro mediante proyección térmica, endurecimiento superficial... Esta opción es muy interesante, pero tiene el inconveniente que cuando haya desgaste, habrá que sustituir los punteros o volverlos a recubrir, lo que conllevaría tiempo y dinero.
- **Opción 3:** Diseñar una camisa de un material duro, que se pueda sustituir en caso de desgaste de la zona. Esta es la opción más lógica, ya que en caso de que haya desgaste se puede sustituir por una nueva camisa. Además se podría tener recambios en stock.

Después de estudiar las diferentes alternativas, se llega a la conclusión de que la opción más adecuada es la de realizar una camisa para el eje, que se fije al mismo mediante tornillos prisioneros y que lleve un recubrimiento para endurecer la zona que va a estar en contacto con el retén y con las estopas.

Para evitar la fuga de producto por la parte interior de la camisa, se mecanizan dos ranuras para la instalación de dos juntas toricas de material NBR y medidas $d1=52\text{mm}$ y $d2=2,5\text{mm}$. El resultado final de las camisas es el siguiente:

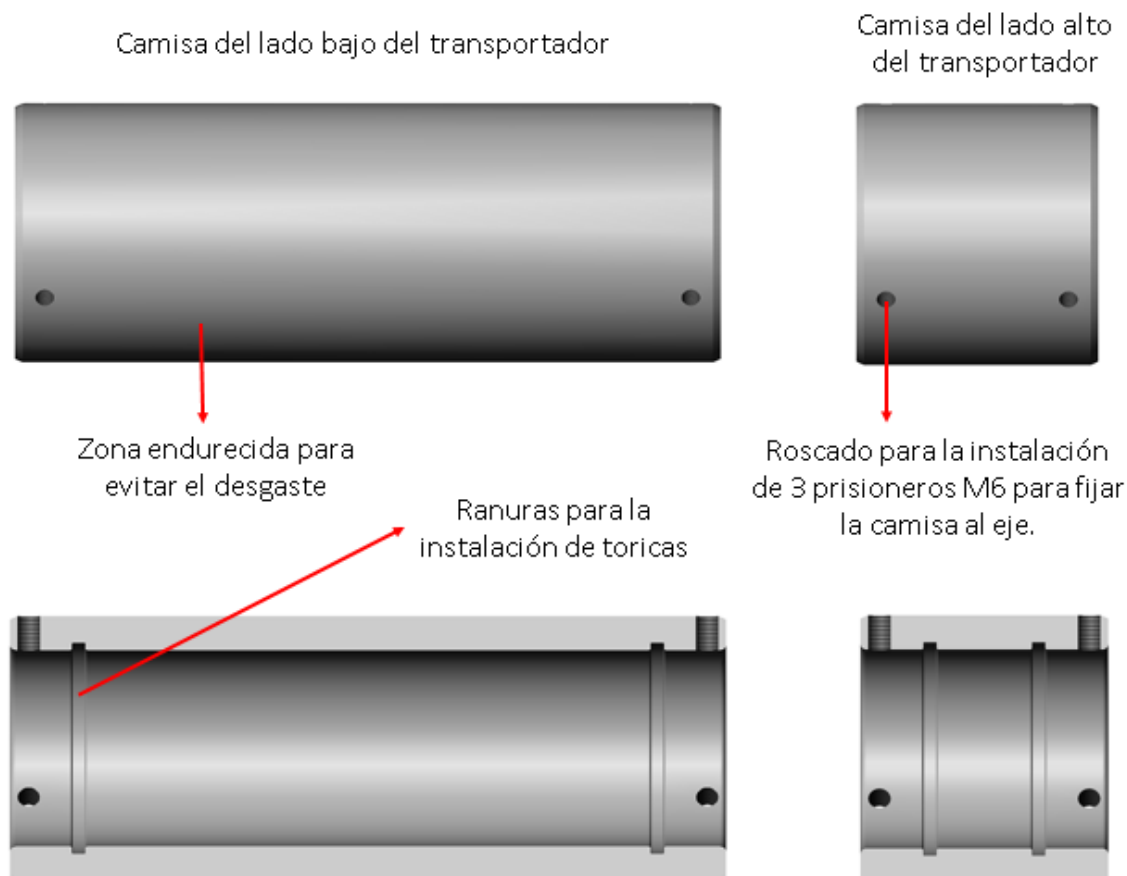


Imagen 37: Características de las camisas diseñadas para evitar el desgaste de los muñones del eje.

Para más información sobre el diseño de las camisas se puede consultar el anexo “Fabricación y diseño de componentes” o el anexo “Planos”.

Para información sobre el material seleccionado para el recubrimiento de las camisas, para el material base de las camisas o para las juntas toricas se puede consultar el anexo “Justificación y selección de materiales”.

8.5. Motor y reductor

8.5.1. El problema

El conjunto motor reductor se encuentra situado en el extremo inferior de los transportadores helicoidales, en el lado más cercano al suelo. Los operarios limpian la zona con agua (utilizando una manguera) y ambos componentes sufren continuas salpicaduras (incluso chorros) de agua mezclada con Sulfato Amónico. Esto, junto con el hecho de que se encuentra en un ambiente corrosivo provoca que el conjunto motor-reductor se encuentre en el estado que se puede apreciar en las imágenes.

Lo anteriormente expuesto y el hecho de que los transportadores helicoidales son equipos que funcionan de una forma irregular (sufren variaciones de par durante su funcionamiento) y el acoplamiento anterior instalado no está dimensionado correctamente (se necesita un acoplamiento de 150 milímetros de diámetro y el que hay instalado actualmente es de 120mm) pueden ser las causas por las que una vez al año aproximadamente haya que sustituir los rodamientos del motor y de la reductora y haya que sanearlos (eliminar la corrosión superficial y pintar).



Imagen 38: Estado del conjunto motor-reductor de la instalación actual.

8.5.2. Soluciones propuestas

Para resolver los problemas de motor y la reductora se han tomado las siguientes medidas:

- Con la nueva disposición de la instalación, tanto el motor como la reductora van instalados a 1,5 metros del suelo aproximadamente. Con esta medida se pretende mejorar significativamente el problema de la corrosión en los rodamientos y en la carcasa exterior de ambos equipos ya que con esta disposición ya no están expuestos al agua y el Sulfato Amónico cuando se limpia la zona.
- Instalar un acoplamiento flexible más grande, capaz de absorber mejor las desalineaciones entre ejes. Además se selecciona una estrella flexible de un material más blando para absorber los posibles golpes de par que se pueden producir por el apelmazamiento de producto durante el funcionamiento del transportador. Con esta medida se pretende mejorar la vida de los rodamientos.
- Como es necesaria la compra de una nueva reductora (al cambiar la inclinación del equipo se necesita mayor velocidad en el eje de salida para trasegar la misma cantidad de producto), se aprovecha para seleccionar una nueva reductora con mejores componentes (rodamientos reforzados, doble retén, buje de acero inoxidable, etc.).
- Pintar con pintura Line-X tanto el motor como la reductora para tener una capa protectora frente a la corrosión.

8.5.3. Selección de una nueva reductora

Las características de la reductora actual son las siguientes:


Marca	Potencia instalada (KW)	Relacion	Accionamiento	Diametro eje salida (mm)	Factor de servicio	Par Salida (Nm)	rpm salida	Rendimiento	Potencia a la salida (KW)	Peso (kg)	Información adicional
Cydepa MFS 130/40 	5,5	40	Preparado acoplar motor B5	45	1,2	1144	35	0,76	4,2	66	Carcasa de fundición gris GG25. Retenes de NITRILO BUTADIENO según DIN 3760. Rodamientos alta calidad. Terminación EPOXI (dos componentes), y acabado de ESMALTE MONOCAPA (dos componentes), de color gris (RAL 7672).

Tabla 11: Características de la reductora instalada actualmente.

Se trata de un reductor del tipo sinfín corona. Este tipo de reductores son los más económicos del mercado por su simplicidad de construcción, lo que les convierte en una opción muy apetecible para determinadas aplicaciones. Debido a su coste, a su bajo peso y a que se puede configurar con mejores componentes, se decide comprar el mismo tipo de reductor y de la misma marca pero con una relación de transmisión menor (para obtener mayores revoluciones a la salida) y con alguno de sus componentes mejorados frente al actual. Estos componentes son los siguientes:

- Rodamientos más robustos.
- Buje de acero inoxidable.
- Doble retén para mejorar la estanqueidad.
- Se pintará con pintura Line-X, igual que las cajas de los rodamientos, para una protección óptima frente a la corrosión.

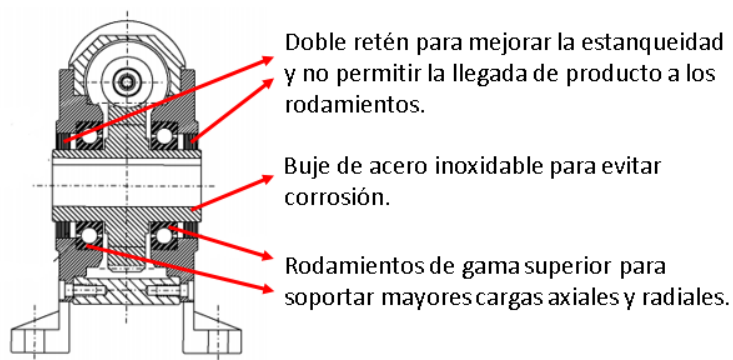


Imagen 39: Componentes mejorados de la nueva reductora.

Por tanto, después de la mejora de todos estos componentes, la nueva reductora consta de las siguientes características:


Marca	Potencia instalada (KW)	Relacion	Accionamiento	Diametro eje salida (mm)	Factor de servicio	Par Salida (Nm)	rpm salida	Rendimiento	Potencia a la salida (KW)	Peso (kg)	Información adicional
	5,5	30	Preparado acoplar motor B5	45	1,4	885	47	0,79	4,4	66	Carcasa de fundición gris GG25. Doble reten de NITRILO BUTADIENO según DIN 3760. Rodamientos reforzados de alta calidad. Terminación EPOXI (dos componentes), y acabado de ESMALTE MONOCAPA (dos componentes), de color gris (RAL 7672).

Tabla 12: Características de la reductora seleccionada.

Como se puede apreciar al comparar la nueva reductora con la antigua instalada, disminuye la relación de transmisión, ya que al aumentar la inclinación del transportador, se necesita mayor velocidad para trasegar la misma cantidad de producto. Al aumentar la velocidad de salida también se pierde par, pero esto no es un problema ya que el par que entrega la nueva reductora es suficiente para el funcionamiento del equipo.

Para más información sobre el aumento de revoluciones del eje del equipo o sobre el par resistente del transportador se puede consultar el anexo “Cálculos” del presente proyecto.

Para obtener información sobre las medidas de la nueva reductora se puede consultar el anexo “Planos” del presente proyecto.

Para obtener información sobre las características del eje de la reductora o sobre el plan de procesos del mismo se puede consultar el anexo “Diseño y fabricación de los componentes principales”.

8.6. Acoplamiento.

8.6.1. El problema

El acoplamiento instalado en el transportador actual se trata de un acoplamiento flexible de estrella de 120 milímetros de diámetro de la marca ALBERT cuyo material es de acero al carbono. En este componente existe el problema de que al ser de acero al carbono presenta mucha corrosión. Añadido a esto, la estrella flexible del acoplamiento se suele degradar prematuramente, motivo por el cual se sustituye cada vez que se le realiza al equipo la gama de mantenimiento (semestralmente).

El hecho de que la estrella se encuentre en mal estado puede provocar que no cumpla bien con su función de absorber los posibles golpes de par y desalineaciones entre ejes, por lo que se considera importante la corrección de este fallo.



Tabla 13: Estado del acoplamiento flexible de la instalación actual.

8.6.2. Soluciones propuestas.

Para solucionar los problemas que presenta la instalación anteriormente descritos se tomarán las siguientes medidas:

- Sustituir el acoplamiento por uno de acero inoxidable.
- Seleccionar un acoplamiento de mayor diámetro (150mm).
- Instalar una estrella flexible de un material más blando.

8.6.3. Selección del nuevo acoplamiento y de la nueva estrella flexible.

Como se puede apreciar en el anexo “Cálculos” del presente proyecto, donde se ha calculado el diámetro del acoplamiento necesario para los requerimientos de par y potencia de la máquina, el acoplamiento actual no es lo suficientemente grande ya que es necesario un acoplamiento de 150 milímetros de diámetro y el que hay instalado actualmente es de 120mm. Por tanto, se instalará un nuevo acoplamiento de acero inoxidable de 150 milímetros de diámetro.

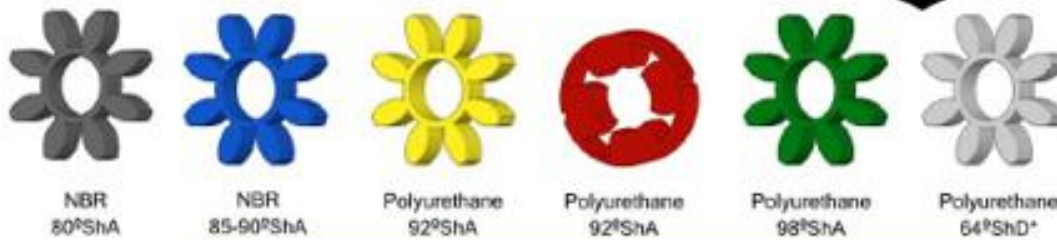


TIPO TYPE	ESTRELLA SPIDER BAGGE	# de Estrella Spiders Inside B Bagge	PAR TORQUE Kgm	M.M. I.D.M.	HP / RPM	A	P	C	G	I	Esp. (Bore) Milímetros		Peso Weight Pounds
											Min.	Max.	
INOX-50	50X10	20		10.000	0,0017	50	62	18	32	22	0	20	0,5
INOX-60	60X14	27		8.500	0,0032	60	80	24	40	28	0	24	0,9
INOX-75	75X18	31		7.000	0,007	75	100	27	50	36,5	0	34	1,5
INOX-90	90X20	37		6.000	0,016	90	124	32	65	46	0	45	3,3
INOX-105	105X20	49		5.500	0,027	105	142	36	72	53	0	48	4,9
INOX-120	120X20	47		4.500	0,041	120	158	38	80	60	0	55	7
INOX-135	135X25	55		4.000	0,053	135	185	40	90	70	0	65	10,5
INOX-150	150X28	63		3.500	0,088	150	212	52	100	80	0	70	15
INOX-175	175X30	67		3.000	0,13	175	238	58	115	90	0	85	23

Tabla 14: Tabla extraída del catálogo de acoplamientos ALBERT en la que se muestran las diferentes características de las de los acoplamientos flexibles según medida.

Adicionalmente, se opta por instalar una estrella más blanda capaz de absorber mayores golpes de par que se puedan producir en la máquina. Con la medida de cambio de estrella se pretende liberar de posibles golpes de par a los rodamientos de la reductora. La estrella escogida es la estrella negra, pasando de una dureza de 92°ShA de la anterior a 80°ShA.

ESTRELLA - SPIDER - BAGUE



CARACTERÍSTICAS-CHARACTERISTICS-CARACTÉRISTIQUES						
TIPO TYPE	NBR	NBR	POLYURETHANE	POLYURETHANE	POLYURETHANE	POLYURETHANE
USO USE UTILISATION	ALTA ELASTICIDAD HIGH ELASTICITY HAUTE ELASTICITÉ	ALTA TEMPERATURA HIGH TEMPERATURE HAUTE TEMPÉRATURE	ESTÁNDAR STANDARD	VULCANIZADO MONTAJE EXTERIOR EXTERIOR MOUNTING EXTÉRIEUR DE MONTAGE	VULCANIZADO ALTA TRANSMISIÓN DE PAR HIGH TRANSMISSION TORQUE HAUTE TORQUE	ALTA RIGIDEZ HIGH RIGIDITY HAUTE RIGIDITÉ
COLOR COLOUR COULEUR	NEGRO BLACK NOIR	AZUL BLUE BLEU	AMARILLO YELLOW JAUNE	ROJO RED ROUGE	VERDE GREEN VERT	BLANCA WHITE BLANC
DUREZA HARDNESS DURETÉ	80 °Sh A	85 °/90°SH A	93 °Sh A	93 °Sh A	98 °Sh A	64 °Sh D
TEMPERATURA TRABAJO / WORKING TEMPERATURE / TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT	- 20°C + 85°C	- 20°C + 130°C	- 20°C + 85°C	- 20°C + 85°C	- 20°C + 85°C	- 20°C + 85°C

TIPO TYPE	PAR TRABAJO / WORKING TORQUE / TORQUE DE FONCTIONNEMENT					
50X10	1,1	1,2	1,2	2	2	2,5
60X14	3,2	3,5	3,5	5	6	7,3
75X16	7,2	8	8	12	13,6	16,8
75X23	11	-	-	-	-	-
90X20	14,4	16	16	24	27,2	33,6
105X20	24,3	27	27	40	45,9	56,7
120X20	36	40	40	60	68	84
135X32	58,5	65	65	90	110,5	136,5
150X28	81	90	90	135	153	189
175X32	121,5	135	135	-	202,5	283,5

Tabla 15: Tabla extraída del catálogo de acoplamientos ALBERT en la que se muestran las diferentes características de las estrellas de los acoplamientos flexibles.

9. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FINAL

9.1. Introducción

En este apartado se pretende hacer un resumen de todas las modificaciones que se tienen que realizar para llevar a cabo el presente proyecto. Además se introducirán datos que no se han nombrado hasta ahora como las uniones de las diferentes piezas, tornillería, etc.

Con todo lo expuesto anteriormente, la instalación final queda de la siguiente forma:

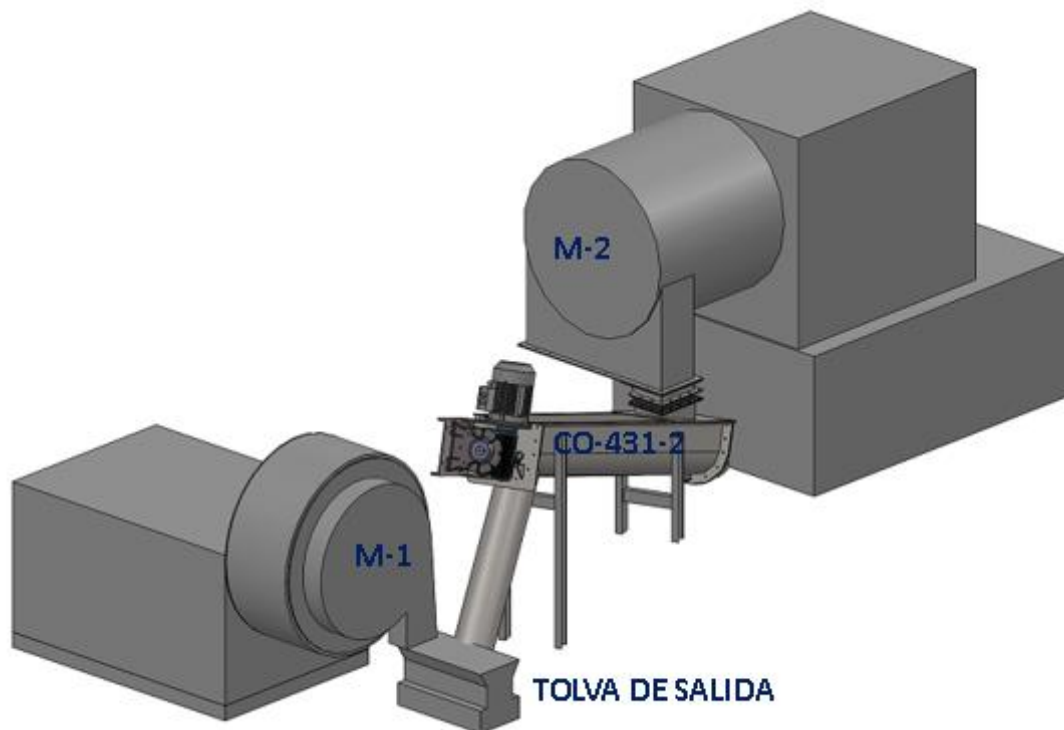


Imagen 40: Instalación final.

9.2. Modificaciones en la centrífuga M2

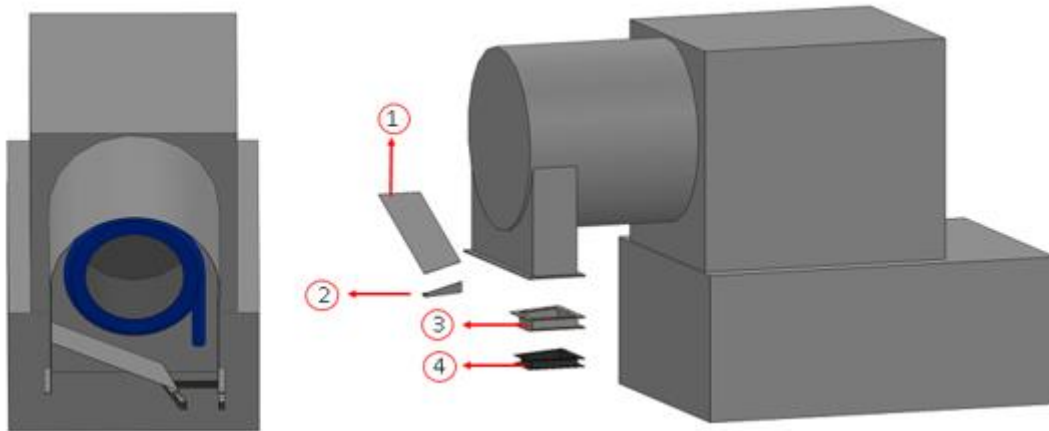
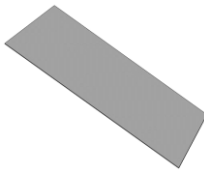
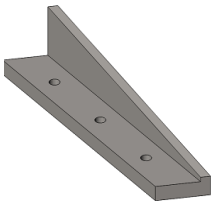


Imagen 41: Despiece de las nuevas piezas instaladas en la centrífuga.

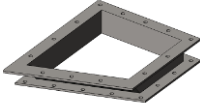
1) Chapa para el interior de la tolva de salida de producto de la centrífuga.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304	Se trata de una chapa de 3mm de espesor que queda soldada en el interior de la tolva de salida de la centrífuga. El objetivo de la chapa es canalizar el sulfato que por circunstancias excepcionales pueda salir por otro lugar que no sea el previsto.	La unión de la chapa con las paredes de la tolva de salida de la centrífuga se trata de una unión soldada. Esta chapa también queda soldada a un soporte que se ha fabricado expresamente para este fin.


2) Soporte para la chapa del interior de salida de producto de la centrífuga.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304	Este soporte va soldado en el interior de la tolva de salida de la centrífuga. La función del soporte es que sirva de apoyo de la chapa que se ha soldado en el interior de la tolva y que se pueda unir a la pieza de acople entre la centrífuga y el textil.	El soporte va soldado a la tolva de salida de la centrífuga y a la chapa del interior de la tolva.


3) Componente de unión entre la tolva de salida de la centrífuga y el textil.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304	Se trata de un componente que se ha diseñado para crear una unión entre la tolva de salida de producto de la centrífuga y el textil que une los dos equipos.	La unión de esta pieza con la tolva de salida de la centrífuga se trata de una unión atornillada con 13 tornillos DIN 933 M10x35 + 26 arandelas DIN 1440 d1=10 + 13 tuercas DIN 934 M10.


4) Compensador textil para la unión de la centrífuga con el sin fin.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: textil	Se trata de un compensador textil para la unión de los dos equipos. Este compensador absorbe las vibraciones y posibles desplazamientos entre la centrífuga y el transportador.	La unión de esta pieza con las colindantes se trata de una unión atornillada con 30 tornillos DIN 933 M10x35 + 30 arandelas DIN 1440 d1=12 + 30 tuercas DIN 934 M10.

5) Tornillería.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304.	Toda la tornillería utilizada en el proyecto es de acero inoxidable A2 (material AISI 304) clase 70 (la clase de calidad más utilizada en tornillería)	-

6) Cinta gore-tex.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: PTFE.	Para todas las uniones metal - metal se utiliza junta gore-tex para asegurar la estanqueidad.	-

9.3. Modificaciones en el transportador



Imagen 42: Imagen final del transportador.

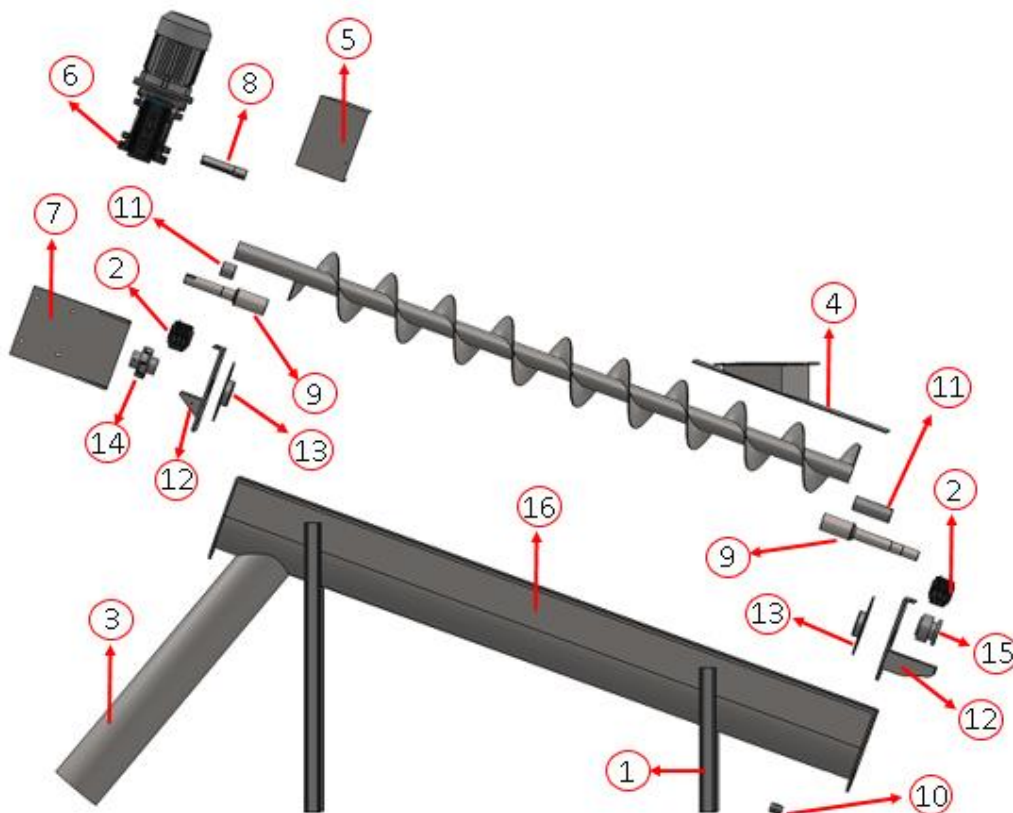
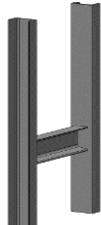



Imagen 43: Despiece del transportador donde aparecen todas las piezas modificadas.

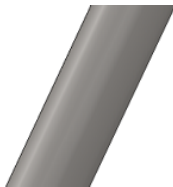
1) Patas perfil UPN 80 de material AISI304.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304	Debido al cambio de inclinación del transportador, es necesario prolongar las patas. Como la empresa tiene en stock perfil UPN 80 se sustituye el perfil cuadrado de 60x60 anterior por el UPN 80.	La unión de las patas con el suelo y con la artesa del transportador se trata de una unión soldada.

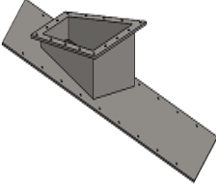
2) Rodamientos.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Ya mencionadas anteriormente en la memoria (punto 8.2.2.3.)	Sustitución de los rodamientos para la mejora de la fiabilidad del transportador.	La unión de la caja de los rodamientos con el soporte de la tapa se trata de 2 tornillos de cabeza hexagonal DIN 933 M18x80 + 4 arandelas DIN 1440 d1=18 + 2 tuercas hexagonales DIN 934 M18. Los laberintos de las cajas se fijan al eje para girar solidariamente con el con 8 prisioneros DIN 914 M8x5

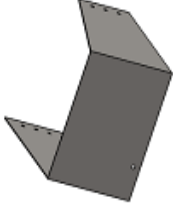
3) Prolongación del tubo de salida de producto

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304. Tubo de 250mm de diámetro.	Al modificar la inclinación del equipo, se necesita prolongar 1 metro el tubo de salida de producto hasta la tolva de salida que dirige el preproducto hacia el secador.	La unión de esta pieza se trata de una unión soldada. Se suelda la prolongación del tubo con el existente y por la parte de la tolva de salida también queda soldado.

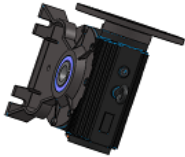

4) Tapa de entrada de producto al transportador

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304.	Nueva tapa para la entrada del producto al transportador.	La unión de esta tapa con el transportador se trata de una unión atornillada con 23 tornillos DIN 933 M10x35 + 23 tuercas DIN934 M10 + 46 arandelas DIN 1440 d1=10.

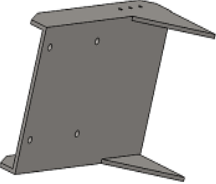
5) Tapa protectora del acoplamiento

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304. Espesor de la chapa de 3mm.	Para cumplir la normativa se necesita tapar las partes de las máquinas que puedan provocar atrapamientos. Esta tapa sirve para proteger la zona del equipo donde se encuentra el acoplamiento.	La unión de esta pieza se trata de una unión atornillada con 8 tornillos DIN 933 M10x30 + 8 arandelas DIN 1440 d1=10 + 7 tuercas DIN 934 M10.


6) Reductora

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Reductora CYDEPA MFS 130/30	Instalación de una nueva reductora para dar más velocidad al eje de salida. LA nueva reductora cuenta con mejores componentes respecto a la anterior: buje de acero inoxidable, doble retén, rodamientos reforzados, etc.	La unión de la reductora con el soporte se trata de una unión con silentblocks de 30mm de espesor, 8 tuercas DIN 934 M16 y 8 arandelas DIN 1440 d1=16 

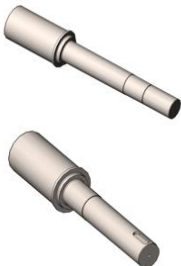
7) Soporte reductora

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304. Espesor de la chapa de 12mm.	Se ha diseñado un soporte para el motor y la reductora del estilo del anterior soporte pero 30mm más largo.	La unión de este soporte con la tapa del transportador se trata de una unión soldada.


8) Eje de la reductora

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 2205.	Nuevo eje para la reductora que se adapta al nuevo montaje. Se sustituye el material pasando de un AISI 316 a un AISI 2205. Adicionalmente para la transmisión de par se mecanizan 2 chaveteros de L=45mm y b=14. En la parte de la reductora la transmisión de par se realiza con una chaveta de b=14 y L=150	La unión de este soporte con la reductora se realiza con un disco de 50mm de diámetro y con un tornillo DIN 933 M16x30


9) Puntas del eje

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 2205. Más información en el anexo "diseño y fabricación de componentes".	Debido a las nuevas piezas instaladas, se hace necesario mecanizar unas nuevas puntas del eje ya que la longitud del eje ahora es mayor. En la punta del lado del acoplamiento la transmisión de potencia se realiza mediante dos chavetas de L=45mm y b=14mm para evitar el deterioro de los chaveteros.	La unión de las puntas con el eje principal del transportador se trata de una unión soldada.


10) Desagüe

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Entronque de 2" rosca macho exterior para soldar. Material: AISI 304	Se suelda un entronque de 2" con rosca macho exterior por el otro extremo para dejar preparado el transportador para la instalación de un desagüe.	La unión de este componente con la carcasa del transportador se trata de una unión soldada.

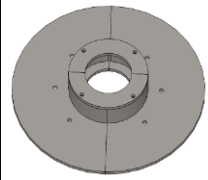
11) Camisas

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material del sustrato: AISI 304. Material del recubrimiento: Stellite 6.	Se instalan unas camisas con un recubrimiento de un material duro para evitar el desgaste de los muñones en las zonas de contacto con los retenes y con la empaquetadura.	Las camisas se fijan a los muñones mediante 6 tornillos prisioneros DIN 914 M6x5.

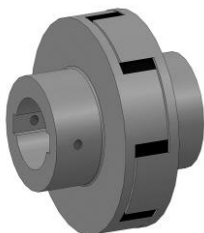
12) Tapas con soportes para los rodamientos

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304. Chapa de 12mm de espesor.	Para instalar las nuevas cajas de los rodamientos se han diseñado dos tapas nuevas. Se les ha dado 2 mm más de espesor respecto a las anteriores para soportar mejor los esfuerzos.	La unión de las tapas con la carcasa se trata de una unión atornillada con 12 tornillos DIN 933 M12x40 + 12 tuercas DIN 934 M12 + 12 arandelas DIN 1440 d1=12.

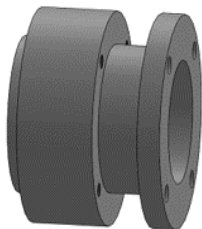
13) Casquillo para los retenes

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304. Casquillo partido en varias piezas para facilitar el montaje.	Con el nuevo casquillo para contener 3 retenes se pretende mejorar el problema de la estanqueidad. El casquillo puede contener 3 retenes EPIDOR B2PT de medidas 100x70x10.	La unión de las partes del casquillo con la tapa se trata de una unión atornillada con 6 tornillos DIN 933 M6x20 + 6 arandelas DIN 1440 d1=6. Las diferentes piezas se unen entre si mediante 4 tornillos DIN 933 M6x15 + arandelas DIN 1440 d1=6.


14) Acoplamiento

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Acoplamiento flexible de estrella de 150mm de diámetro. Material del sustrato: AISI 316. Material de la estrella: NBR.	Se sustituye el acoplamiento por uno de acero inoxidable, de mayor diámetro y con una estrella más blanda. El objetivo es que absorba mejor las desalineaciones y que los rodamientos de la reductora sufran menos.	Ambas partes del acoplamiento se fijan al eje mediante 2 tornillos prisioneros DIN 914 M8x10.


15) Prensaestopas

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304.	Para solucionar el problema de la estanqueidad se instala un prensaestopas capaz de contener 3 anillos de empaquetadura de la marca LATTY de sección 10x10mm.	La unión del prensaestopas con la tapa se trata de una unión soldada. La unión de la parte fija del prensaestopas con la parte móvil se realiza mediante 4 varillas roscadas M10 de L=110mm, 4 arandelas DIN 1440 d1=10 y 8 tuercas DIN 934 M10.


16) Artesa

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304 y AISI 316 en el interior (zonas de contacto con el producto).	Se ha realizado un agujero en la parte baja de la artesa para soldar un entronque de 2" con rosca macho exterior por el otro extremo para dejar preparado el transportador para la instalación de un desagüe.	-


17) Tornillería.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: AISI 304.	Toda la tornillería utilizada en el proyecto es de acero inoxidable A2 (material AISI 304) clase 70 (la clase de calidad más utilizada en tornillería)	-


18) Cinta gore-tex.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: PTFE.	Para todas las uniones metal - metal se utiliza junta gore-tex para asegurar la estanqueidad.	-


19) Retenes EPIDOR B2PT

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Casco exterior de acero inoxidable y labio de estanqueidad de PTFE. Junta tórica de FPM entre el PTFE y el casco metálico.	Se instalan 3 retenes en ambos lados del transportador. Se fijan mediante los casquillos para contener los retenes introducidos anteriormente.	-

20) Juntas toricas.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Material: NBR	Juntas toricas de $d1 = 52\text{mm}$ y $e = 2,5\text{mm}$ para evitar la fuga de producto entre los muñones y las camisas	-

20) Empaquetadura LATTYflon 4758.

IMAGEN	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	UNIÓN
	Empaquetadura multifibra: las esquinas con fibras de aramida al 100% impregnadas con PTFE. Caras de PTFE al 100% lubricadas y exentas de silicona. La empaquetadura se trata durante el trenzado con una mezcla de PTFE.	Se instalan 3 anillos de empaquetadura en el prensaestopas del lado bajo del transportador. Con esta medida se pretende retener posibles fugas de producto que atraviesen la zona de los retenes.	-

10. PLANIFICACIÓN

10.1. Introducción

La planificación del presente proyecto constará de 9 etapas que se describirán a continuación:

1) Elaboración de un anteproyecto.

Durante esta primera etapa el proyectista estudiará la instalación a mejorar y realizará un anteproyecto de la instalación. El anteproyecto es la forma inicial de un proyecto y dispondrá de las siguientes partes:

- **Título:** El nombre que se le da al proyecto.
- **Antecedentes:** Se describen todos los antecedentes que ha tenido el ente objeto de estudio antes de su investigación.
- **Definición del problema:** Se define el problema que se va a tratar.
- **Justificación:** Se argumentan las razones por las que es importante la realización de este proyecto.
- **Objetivos:** Lo que se pretende obtener con el desarrollo del proyecto.
- **Alcances y limitaciones:** El alcance define el área o lugar concreto donde se aplicará el proyecto, mientras que la limitación define dentro de ese lugar, la función específica de la actividad a realizar.
- **Procedimiento:** Cómo se van a realizar las actividades a seguir para lograr el objetivo descrito.
- **Descripción de las actividades:** Presenta una explicación global de las actividades seleccionadas en el proyecto.
- **Cronograma:** Consiste en delimitar el tiempo que comprenderá cada una de las actividades para el desarrollo del proyecto.
- **Presupuesto:** Cálculo de los gastos que requieran los recursos implicados en el proyecto.
- **Bibliografía:** Determinar las fuentes que han sido consultadas para el desarrollo del proyecto.

2) Formulación de una propuesta de mejora de la instalación.

El proyectista que ha elaborado el anteproyecto, rellenará un formulario de propuesta de mejora de la instalación. Este documento será remitido a los supervisores de los departamentos de fiabilidad, mantenimiento, proyectos, seguridad y producción. Este documento contendrá la siguiente información:

- Originador de la propuesta: Nombre y firma del proyectista.
- Justificación de la mejora: Se especificará si la justificación de la mejora es de tipo económica, seguridad, medio ambiente, calidad u otra. En caso de ser otra se especificará el tipo (fiabilidad, etc).
- Origen de la mejora: Se describen los problemas de la instalación actual, problemas que ha dado, costes económicos, etc.
- Descripción de la mejora: Se describe la mejora.
- Presupuesto estimado de la mejora: Se dará una cifra aproximada de la cantidad a la que puede ascender realizar la mejora.
- Incentivo económico: Se describirá brevemente por qué para la empresa es interesante económicamente realizar la mejora al equipo.
- Medios necesarios y personal involucrado en la mejora: En este apartado se describirán brevemente los medios necesarios para llevar a cabo la modificación del equipo y se detallará el personal que se necesita (personal del taller estático, personal del taller rotativo, personal del taller eléctrico, etc.)
- Observaciones.

Una vez rellenado este documento, se enviará a los diferentes departamentos de la empresa y será estudiado por los responsables del departamento de mantenimiento, producción, fiabilidad, seguridad y proyectos. Los responsables de estos departamentos se reúnen cada quince días para estudiar las mejoras propuestas y son los que decidirán si la mejora se va a llevar a cabo o no.

3) Elaboración del proyecto.

Si la propuesta de mejora es aceptada y firmada por los responsables de los departamentos mencionados anteriormente, se realizará el proyecto de la mejora de la instalación. Este proyecto constará como mínimo de las siguientes partes:

- Descripción y análisis de la situación actual.
- Propuesta de soluciones a los problemas de la actual instalación.
- Justificación de las mejoras propuestas mediante cálculos, estudios, etc.
- Planos de las nuevas piezas a realizar y de la nueva instalación propuesta.
- Estudio económico

4) Compra de los materiales, herramientas, maquinaria, etc. necesarios para la elaboración del proyecto:

- Durante esta etapa el departamento de compras recibirá el proyecto y desglosará los diferentes elementos a comprar. Posteriormente solicitará presupuesto a las diferentes empresas y escogerá la oferta más competitiva.

5) Fabricación y preparación de las piezas en el taller:

Una vez se dispone de todos los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, se prepararán las piezas en el taller para que el día de la instalación esté todo a punto para ejecutar el montaje en el menor tiempo necesario.

Durante esta etapa se realizarán las siguientes operaciones:

- Cortado de chapas y soldadura para fabricar el soporte de la reductora, la chapa interior de la tolva de salida de la centrífuga, la nueva tapa de entrada de producto del transportador, las nuevas tapas del transportador con los soportes de los rodamientos...
- Torneado y fresado de las puntas del eje, del prensaestopas, del eje de la reductora, etc.

6) Desmontaje de la anterior instalación.

Durante esta fase, el personal del taller estático se encargará de desmontar la instalación sometida a mejora y deberán dejar todo preparado para que se lleve a cabo el montaje de la nueva instalación.

7) Montaje de la nueva instalación.

El personal del taller estático será el encargado de montar la instalación adecuándose a los planos y respetando todos los puntos del proyecto.

8) Prueba de la instalación.

Una vez montada la instalación, los operadores de planta de la U-431 efectuará una prueba de la misma verificando que todo funciona según lo esperado y que no hay ninguna situación anómala.

9) Puesta en marcha.

En esta última etapa se pondrá en funcionamiento la instalación y se le mostrará especial atención durante los posteriores días para comprobar que todo funciona correctamente.

10.2. Diagrama de GANTT

A continuación se muestra una tabla donde aparecen las distintas actividades del proyecto y su duración:

Actividad	Descripción	Predecesora	Fechas
A	Anteproyecto	-	01/6/16 – 01/7/16
B	Propuesta de mejora	A	04/7/16 – 18/7/16
C	Proyecto	B	19/7/16 – 19/8/16
D	Compras	C	22/8/16 – 02/9/16
E	Fabricación y preparación	D	05/9/16 – 16/9/16
F	Desmontaje	E	19/9/16 – 19/9/16
G	Montaje	F	20/9/16 – 21/9/16
H	Pruebas de la instalación	G	22/9/16 – 25/9/16
I	Puesta en marcha	H	26/9/16

Tabla 16: Actividades del proyecto y su duración.

En la siguiente página se puede observar el diagrama de Gantt del proyecto donde se pueden consultar las diferentes actividades y la duración total del proyecto.

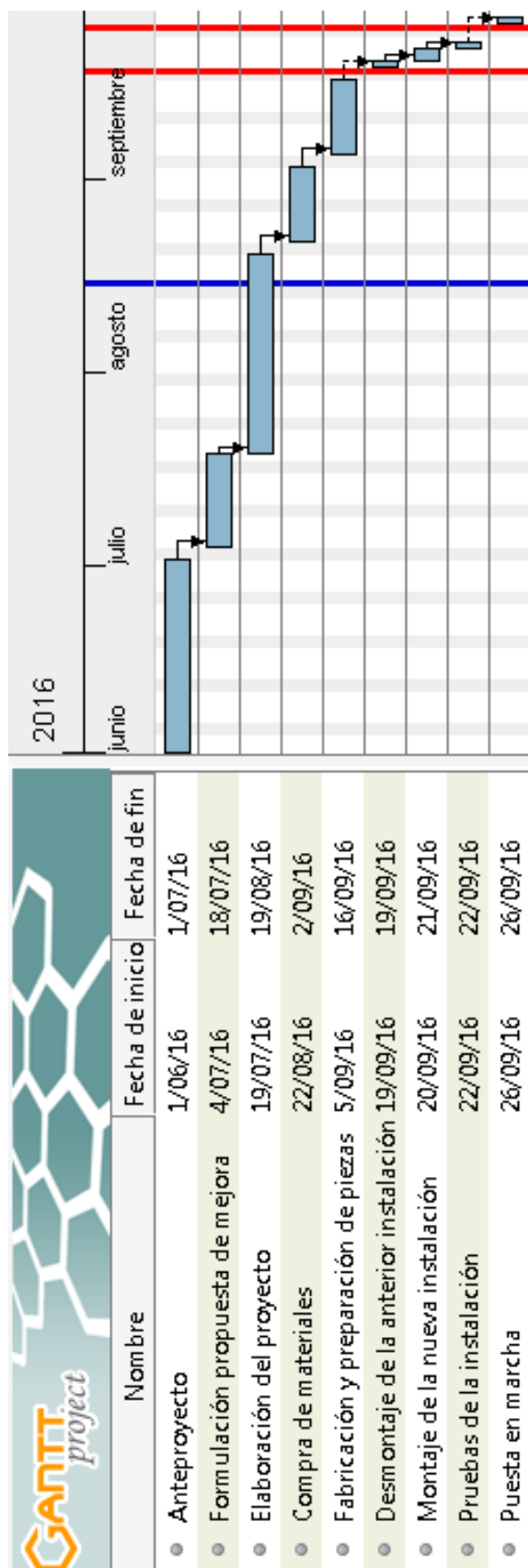


Imagen 44: Diagrama de GANTT.

10.3. Diagrama de recursos

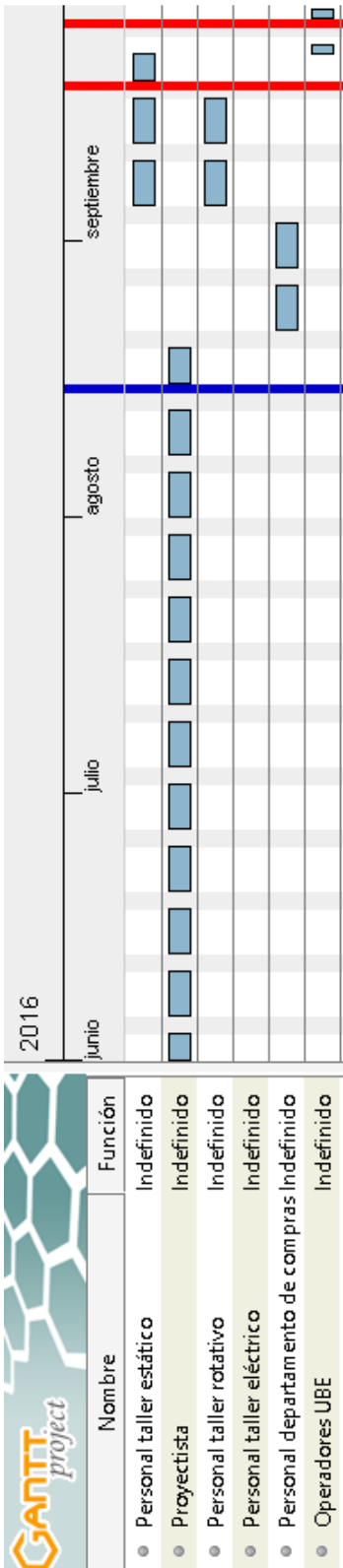


Imagen 45: Diagrama de recursos.

10.4. Pert

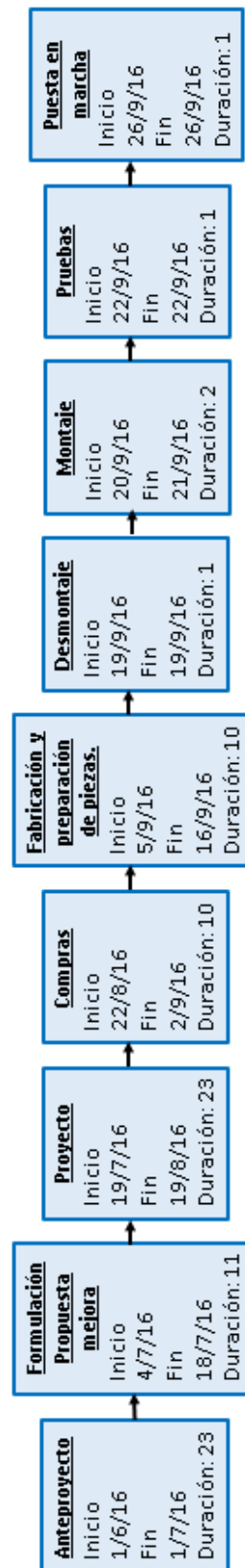


Imagen 46: Diagrama de PERT.

11. ESTUDIO ECONÓMICO

Como se puede apreciar en el anexo “Estudio económico” del presente proyecto, el presupuesto total para la realización del mismo asciende a 11.392,76€.

El beneficio anual esperado a causa de reducir significativamente el consumo eléctrico y el gasto en mantenimiento y sustitución de componentes de la instalación asciende a 6.997,79€.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, se puede dar por económicamente viable el proyecto, ya que se amortizaría durante los dos primeros años.

12. CONCLUSIONES

Con todas las modificaciones expuestas en los apartados anteriores de la memoria se pretende lograr los siguientes objetivos:

- Reducción del consumo eléctrico y del gasto por mantenimiento ya que pasa de tener dos transportadores a uno solo.
- Reducción de la probabilidad de fallo a la mitad ya que pasa de tener dos transportadores a uno solo.
- Mejorar el MTBF tanto del motor como de la reductora con las diferentes acciones tomadas: Instalando ambos componentes en la parte alta del transportador, por lo que ya no están expuestos a chorros de agua y Sulfato Amónico. Instalando un acoplamiento de mayor diámetro y capaz de absorber mejor las desalineaciones y posibles golpes de par del equipo (el acoplamiento actual no está correctamente dimensionado para las condiciones de trabajo del equipo).
- La instalación de los nuevos rodamientos con soporte de pie evitará la entrada de producto en el interior de las cajas y el fallo prematuro de los mismos. La fiabilidad de estas cajas y rodamientos está contrastada puesto que llevan más de tres años montadas en cintas transportadoras y elevadores sin haberse reportado fallos. Además, permite estandarizar repuestos, lo que se traduce en una reducción de stock.
- Reducción del stock de piezas de recambio.
- Todos los componentes diseñados o seleccionados para la nueva instalación son resistentes a la corrosión por sulfato amónico.
- Acabar con la rotura de las puntas del eje por el lado del chavetero, ya que se ha aumentado la longitud de las chavetas y se ha modificado el material de estos componentes.
- Mejorar la estanqueidad del equipo con los nuevos retenes y la empaquetadura instaladas.
- En caso de que la mejora no diera resultado y se tuviera que volver a la situación actual, durante el tiempo que durara el trabajo (2 jornadas) se operaría con la centrífuga M-1 y no implicaría pérdidas de producción.

Una vez expuestas todas las mejoras a las que se va a someter la instalación para la mejora de su fiabilidad y una vez verificado que se cumplen los requisitos establecidos por la empresa UBE y el proyectista, se da por concluido el presente proyecto.

ANEXOS A LA MEMORIA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: MONTAJE DE LA INSTALACIÓN	97
ANEXO II: CÁLCULOS	111
ANEXO III: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES.....	173
ANEXO IV: GAMA DE MANTENIMIENTO Y PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN	207
ANEXO V: JUSTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS	219
ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO.....	243

ANEXO I: MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	101
2. MONTAJE DE LA INSTALACIÓN.....	101
2.1. Día 1.....	101
2.2. Día 2.....	101
2.3. Día 3.....	106
2.4. Día 4.....	109

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se pretende explicar los diferentes pasos para realizar el montaje del proyecto. Se dividirá el trabajo en días y se señalarán puntos clave durante la instalación que determinarán si se está procediendo bien en el montaje.

2. MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

2.1. Día 1

- Desmontaje de la anterior instalación, retirada de las piezas inservibles, transporte de las piezas nuevas, de la herramienta y de los equipos necesarios para el montaje.

2.2. Día 2

- Medir el eje del sin fin para comprobar que mide 3170mm. En caso de que el eje no mida 3170mm, añadir un tramo o cortar para dejar la medida exacta. Si hay que añadir un tramo o cortar, se realizará siempre por el lado del eje en el que no hay hélice (lado derecho de la imagen).



Imagen 47: Eje del sin fin.

- Introducir las puntas del eje en el eje hueco del sin fin hasta hacer tope y soldar. En el lado del eje donde no hay hélice (lado derecho de la imagen) irá instalada la punta con los chaveteros y en el lado opuesto (lado izquierdo) se soldará la otra punta. Para soldar las puntas del eje con el eje del sin fin se utilizarán electrodos de 2,5mm AWS A5.4 TIP 309L Mo17. Estos electrodos sólo se utilizarán para soldar los muñones ya que se sueldan materiales disímiles. Para todas las demás soldaduras se utilizarán el otro tipo de electrodos que aparecen en la lista de consumibles del apartado "Mediciones y presupuesto" del presente proyecto.

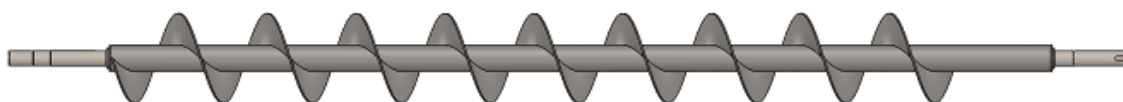


Imagen 48: Eje del sin fin con las puntas.

- Introducir las camisas en el eje hasta que hacer tope y fijarlas mediante los prisioneros. La camisa corta va instalada en la punta que tiene las ranuras para las chavetas. La camisa larga va instalada en la punta del lado opuesto.



Imagen 49: Eje del sin fin con las puntas y con camisas.

- Disponer la carcasa del transportador en una posición cómoda para trabajar e introducir el eje. El lado del eje que tiene la punta con los chaveteros coincidirá con el lado de la artesa por donde sale el producto del transportador.



Imagen50: Artesa del sin fin dispuesta a una altura cómoda para trabajar.

- Introducir los retenes sobre las camisas y dejarlos en su posición aproximada.

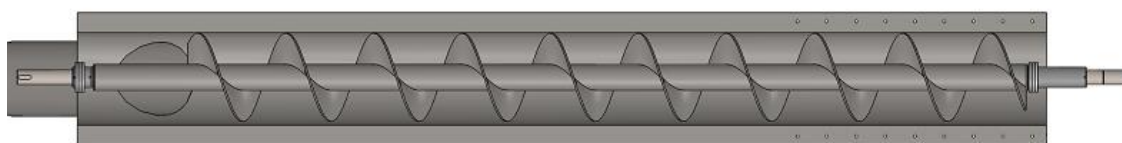


Imagen 51: Vista superior del transportador donde se puede observar cómo se han introducido los retenes sobre las camisas.

- Soldar la cajera del prensaestopas a la tapa. Hay que asegurarse de que el agujero del prensaestopas queda concéntrico con el de la tapa.

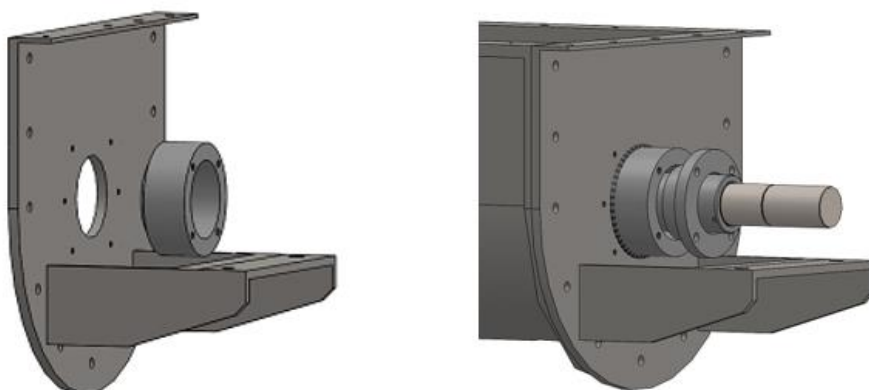


Imagen52: Instalación del prensaestopas en la tapa del transportador.

- Fijar las tapas a la carcasa del transportador. La tapa rectangular va instalada en el lado del transportador por donde se encuentra la salida de producto. La otra tapa va instalada en el lado opuesto.



Imagen53: Instalación de las tapas del transportador.

Al realizar el montaje de las tapas, una referencia para seguir montando el equipo es que la camisa del lado de la tapa cuadrada debe quedar situada a ras de la tapa (ver imagen).

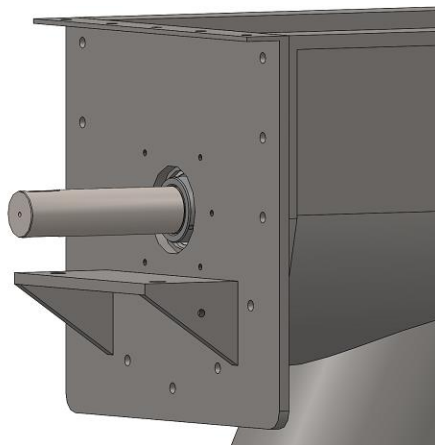


Imagen 54: Imagen donde se muestra que la camisa tiene que quedar a la misma altura que la tapa.

- Instalar las cajas de los rodamientos.

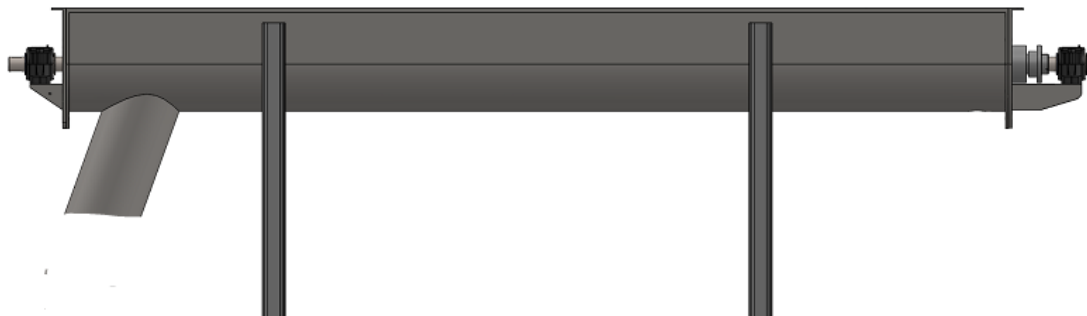


Imagen55: Transportador con las cajas instaladas.

- Instalar los casquillos para los retenes en ambos lados. Para ello situar primero los retenes en su posición exacta.

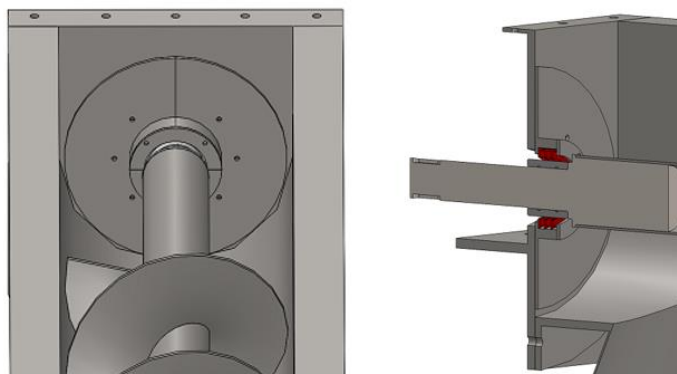


Imagen56: Instalación del casquillo y de los retenes.

- Instalar los 3 anillos de la empaquetadura.

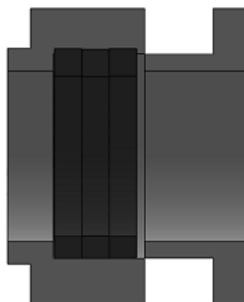


Imagen 57: Anillos de empaquetadura instalados en el prensaestopas.

- Soldar el soporte de la reductora. Este paso es muy importante y habrá que soldarlo en la situación exacta para evitar desalineaciones entre ejes. La posición exacta es la que se muestra en la imagen. Desde la superficie de la cartela a la superficie de la solapa de la tapa tiene que haber una distancia de 30mm.

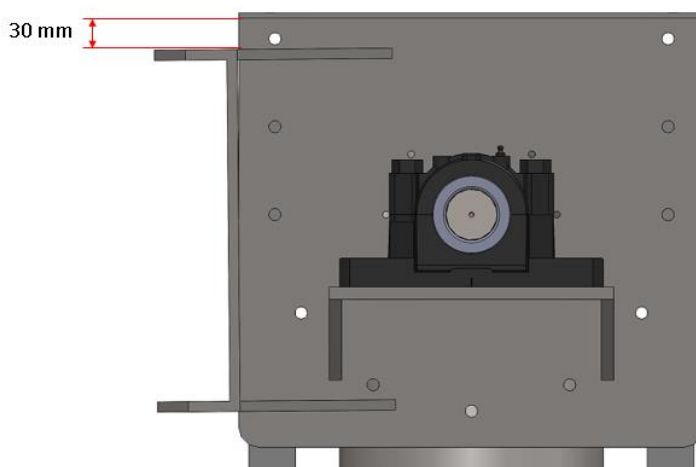


Imagen 58: Situación exacta del soporte de la reductora.

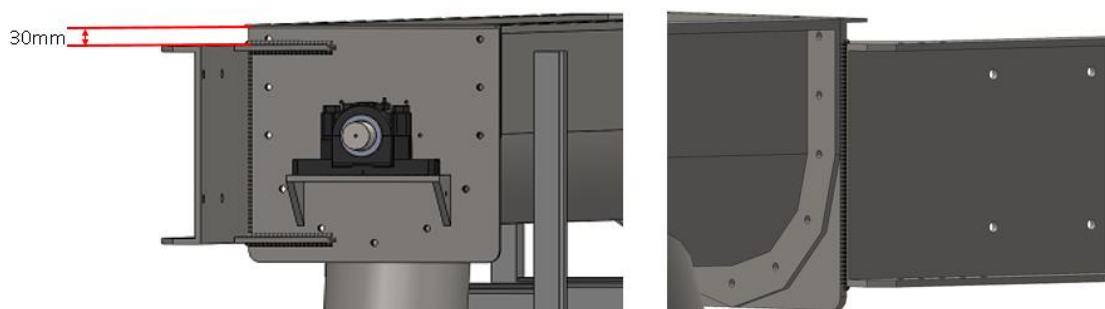


Imagen 59: Detalle de la unión del soporte de la reductora con la tapa.

- Preparar la reductora para su montaje. Para ello, instalar el eje de la reductora con las chavetas, el acoplamiento, la galleta y el tornillo M16x30 de fijación axial del eje.



Imagen 60: Montaje de la reductora.

- Instalar el acoplamiento en el otro lado del eje y colgar la reductora con los silentblocks.



Imagen 61: Instalación de la reductora en el transportador.

- Instalar el motor y fijar la reductora con los silentblocks. Comprobar que no existen desalineaciones entre ejes.



Imagen 62: Instalación del motor en el transportador.

2.3. Día 3

- Soldar la pieza soporte de la rampa en el interior de la tolva de salida de producto de la centrífuga. Para ello se tendrá que instalar a la distancia mostrada en la imagen.

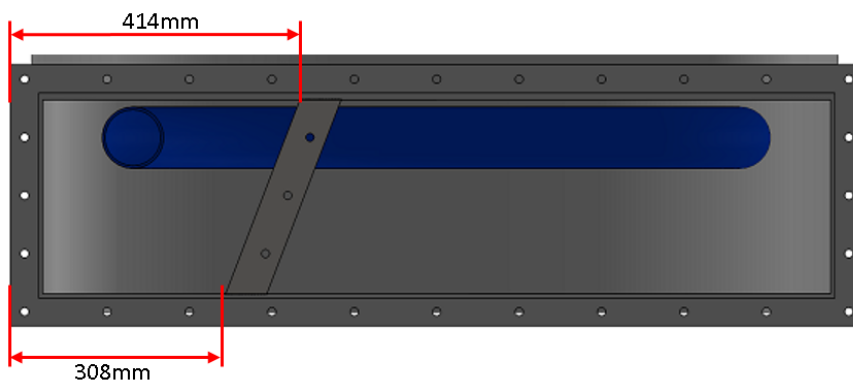


Imagen 63: Instalación del soporte de la chapa interior de la centrífuga.

- Extraer la tapa frontal de la centrífuga.

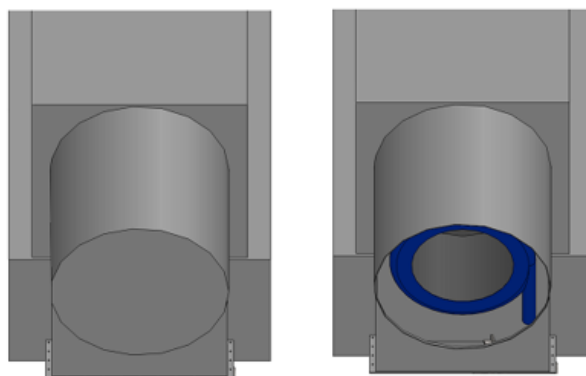


Imagen 64: Imagen donde se muestra la centrífuga con la tapa frontal y sin ella.

- Soldar la chapa interior de la centrífuga.

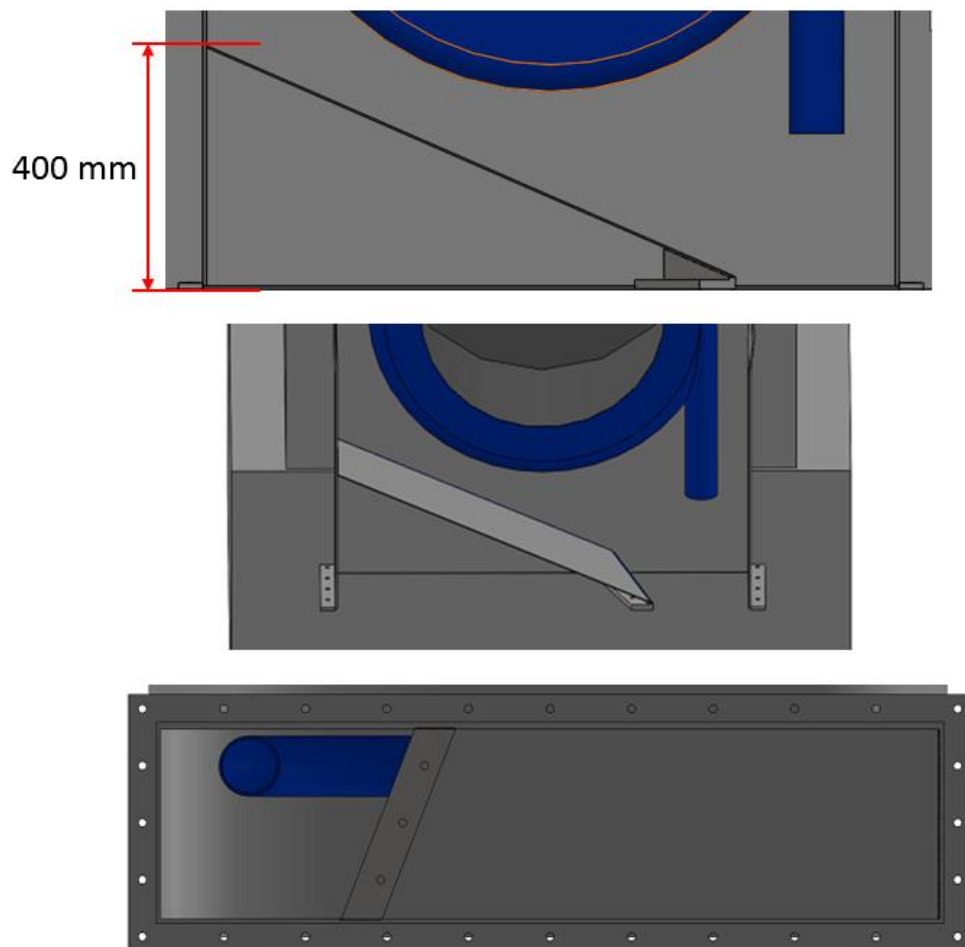


Imagen 65: Detalle de la instalación de la chapa interior de la centrífuga.

- Instalar la pieza de acople de la centrífuga al textil, el textil y la pieza de acople del textil al sin fin.

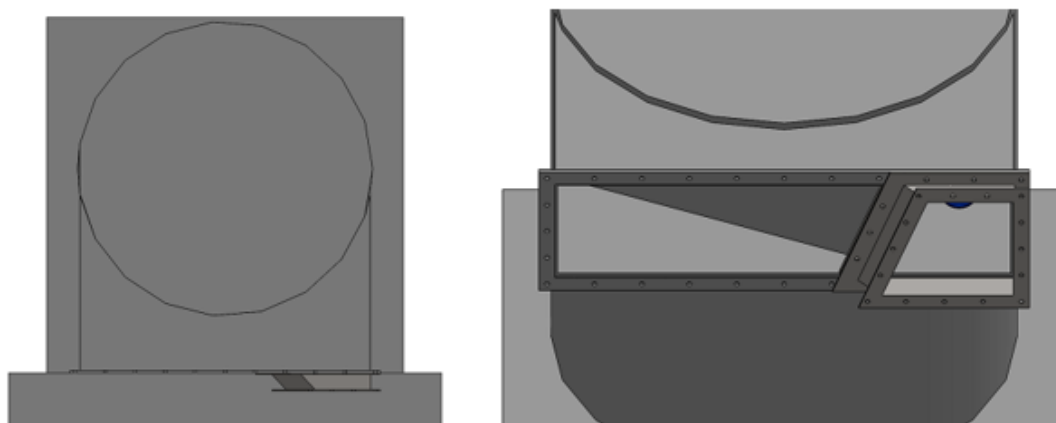


Imagen 66: Instalación de la pieza de acople entre la centrífuga y el textil.

- Con la ayuda de un tractel soldar las patas del transportador.

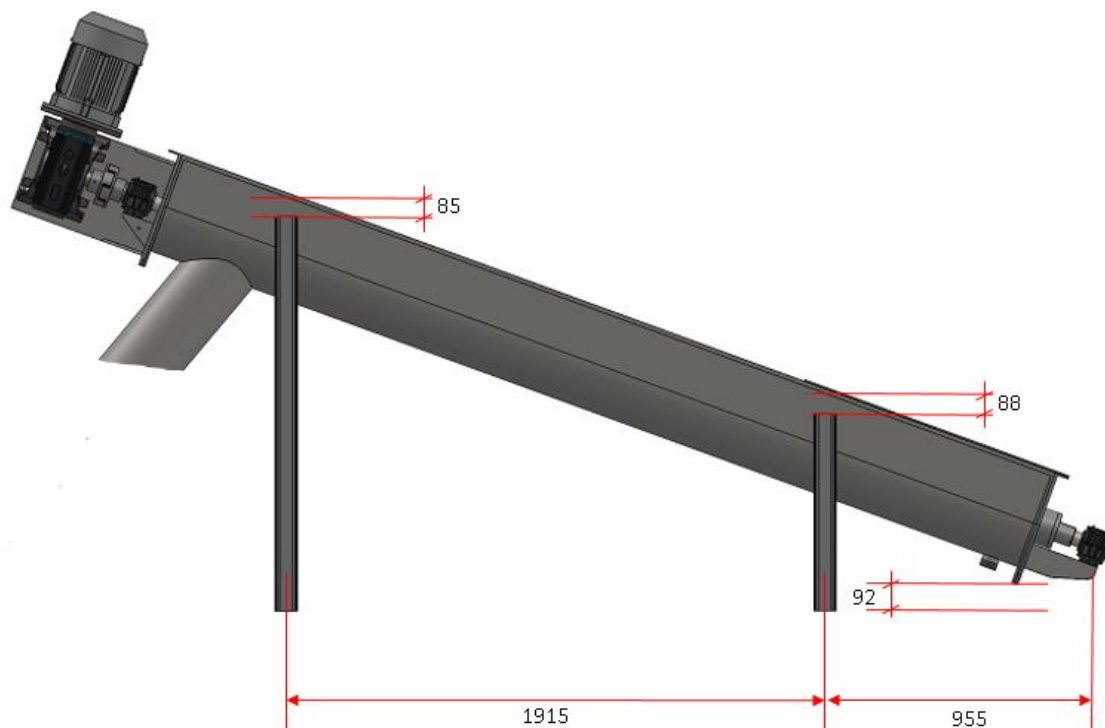


Imagen 67: Situación de las patas del equipo.

- Instalar la tapa de entrada de producto del transportador, situar el equipo en su lugar y soldar la prolongación de la tolva de salida de producto.

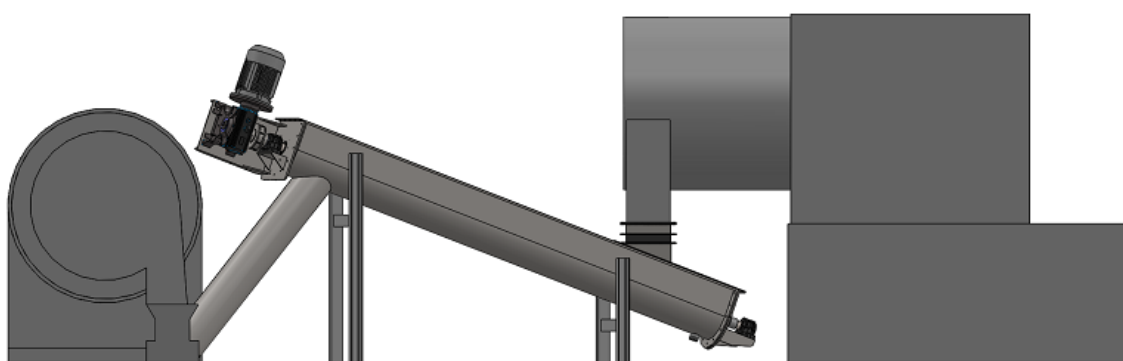


Imagen 68: Instalación completa.

- Instalar el textil y los componentes de la instalación anterior que son comunes a esta: tapas superiores del transportador, etc.

2.4. Día 4

- Realizar los trabajos eléctricos necesarios y dejar el equipo preparado para la puesta en marcha.
- Hacer una prueba en vacío de la instalación y verificar que todo funciona como es debido.

ANEXO II: CÁLCULOS

ÍNDICE

1. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE PAR DEL TRANSPORTADOR.....	115
1.1. Cálculo de las necesidades de par de la instalación actual	115
1.2. Cálculo del incremento de potencia por el cambio de inclinación	116
2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL EJE NECESARIA PARA TRANSPORTAR EL CAUDAL DESEADO DE PRODUCTO	118
3. CÁLCULOS NUEVA REDUCTORA	120
4. SELECCIÓN DEL ACOPLAMIENTO	121
5. CÁLCULO DE LAS CHAVETAS.....	123
5.1. Introducción	123
5.2. Cálculo de la longitud necesaria de las chavetas	124
5.3. Conclusión	127
6. CÁLCULO DEL EJE.....	128
6.1. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el eje	128
6.1.1. Fuerzas en las hélices debido al desplazamiento del producto.	128
6.1.2. Fuerzas en el eje debido al peso propio.....	131
6.2. Obtención de las reacciones, diagramas de esfuerzo y desplazamientos	132
6.2.1. Introducción	132
6.2.2. Diagramas de esfuerzos	133
6.2.3. Tabla con esfuerzos y diagramas en cada punto	134
6.2.4. Reacciones en los apoyos.....	135
7. CÁLCULO A FATIGA Y FLUENCIA DEL EJE.....	136
7.1. Introducción	136
7.2. Verificación a fatiga y a fluencia de las distintas secciones del eje.....	141
7.2.1. Sección A	142
7.2.2. Sección B	143
7.2.3. Sección C	144
7.2.4. Sección D	145
7.2.5. Sección E.....	146
7.2.6. Sección F.....	147
7.2.7. Sección G	148
7.2.8. Sección H	149
7.2.9. Sección I.....	150
7.2.10. Sección J	151

7.3. Conclusión	152
8. CÁLCULO DE LA VIDA DE LOS RODAMIENTOS	153
8.1. Introducción	153
8.2. Vida estimada del rodamiento del lado bajo del transportador.....	155
8.3. Vida estimada del rodamiento del lado alto del transportador	156
8.4. Comprobación de que no se supera la máxima desalineación permisible en los rodamientos	157
9. CÁLCULO DE LA DILATACIÓN LONGITUDINAL DEL EJE	158
10. CÁLCULO DEL SOPORTE (LADO BAJO).....	159
11. CÁLCULO DE LAS PATAS	164
11.1. Comprobación a pandeo	164
11.2. Comprobación a flexión	169
11.2.1. Pata corta	169
11.2.2. Pata larga.....	171

1. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE PAR DEL TRANSPORTADOR

1.1. Cálculo de las necesidades de par de la instalación actual

Para calcular las necesidades de par y potencia en el eje del equipo se ha solicitado una medición de amperaje en el CO-431-2 (el transportador de 3,3m de longitud que se va a utilizar para la nueva instalación). Este transportador lleva instalado:

- Un motor asíncrono de jaula de ardilla de 5,5KW y 1500rpm de la marca ABB.
- Una reductora sinfín corona con una relación $i=40$ y una velocidad a la salida del eje de 35rpm de la marca CYDEPA SINCRON.

El resultado obtenido de la medición de amperaje ha sido el siguiente:

$$I_L = 4,5 \text{ A}$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
I_L	Intensidad de corriente que circula por la instalación	Amperios (A)	4,5

Con este dato, utilizando la ecuación (1) se puede obtener la potencia que está consumiendo el equipo en condiciones normales de funcionamiento.

$$P_{abs} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos\varphi \quad (1)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
P_{abs}	Potencia absorbida por el motor	KW	-
V_L	Voltaje al que trabaja la planta.	V	500
I_L	Intensidad de corriente que circula por la instalación	A	4,5
$\cos\varphi$	Factor de potencia del motor	-	0,66

NOTA: El factor de potencia del motor funcionando a plena carga (100%) es de 0,82. Como el motor está trabajando al 50% (está consumiendo 4,5 A cuando su intensidad nominal es de 8,5 A), se ha estimado mediante la observación de diferentes test de motores de 5,5KW de la marca ABB, que el $\cos\varphi \approx 0,66$.

$$P_{abs} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos\varphi = \sqrt{3} \times 500 \times 4,5 \times 0,66 = 2572,10 \text{ W}$$

Como el motor y la reductora tienen un rendimiento de 0,87 y 0,76 respectivamente, la potencia en el eje es de:

$$P_{eje} = P_{abs} \times \eta_{motor} \times \eta_{reductora} = 2572,10 \times 0,87 \times 0,76 = 1700,67 \text{ W}$$

$$T_{eje} = \frac{P_{eje}}{w_{eje}} \quad (2)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
P_{eje}	Potencia necesaria en eje	W	1700,67
T_{eje}	Par eje	Nm	-
w_{eje}	Velocidad angular eje	Rad/s	3,67

Entonces:

$$T_{eje} = \frac{P_{eje}}{w_{eje}} = \frac{1700,67}{367} = 463,40 \text{ Nm}$$

Por tanto las necesidades de par y potencia de la instalación actual son:

	Descripción	Unidades	Valor
P_{eje}	Potencia eje	W	1700,67
T_{eje}	Par eje	Nm	463,40

Tabla 17: Necesidades de par y potencia de la instalación.

1.2. Cálculo del incremento de potencia por el cambio de inclinación

Como se ha comentado en la memoria, la inclinación del equipo se va a modificar, por lo que será necesaria una mayor potencia ya que se eleva a una cota más alta el producto. Actualmente la inclinación del transportador es de 11° y el producto se eleva a 0,6 metros. Con la instalación modificada la inclinación del equipo pasará a ser de 20° y se elevará a 1,2 metros.

Para hacer una estimación del incremento de potencia que se va a necesitar para elevar el producto hasta 1,2 metros se ha recurrido a la norma UNE 58-224-88, donde existen ecuaciones para el cálculo de la potencia requerida según la inclinación del transportador. Para ello se seguirá los siguientes pasos:

- En primer lugar se va a calcular el caudal del transportador (I_v):

$$I_v = 60 \times \phi \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S \times n \quad (3)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
I_v	Caudal del transportador	m ³ /h	-
ϕ	Coeficiente de llenado	-	0,351
D	Diámetro nominal del tornillo	M	0,3
S	Paso del tornillo	M	0,3
n	Velocidad angular del tornillo	Rpm	35

NOTA: Para el cálculo del coeficiente de llenado la norma indica un valor de $\phi = 0,45$ en tornillos sin cojinete intermedio y para materiales que fluyen fácilmente. También indica que este valor se debe reducir un 2% por cada grado de inclinación del transportador. Como el transportador de la instalación actual tiene 11º de inclinación, el coeficiente de llenado es de:

$$\phi = 0,45 \times (1 - 0,02 \times 11) = 0,351$$

De la ecuación (3) sustituyendo valores se obtiene:

$$I_v = 60 \times \phi \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S \times n = 60 \times 0,351 \times \frac{\pi}{4} \times 0,3^2 \times 0,3 \times 35 = 15,63 \frac{m^3}{h}$$

- Una vez obtenido I_v , se puede obtener la capacidad del transportador I_M :

$$I_M = \rho \times I_v \quad (4)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
I_v	Caudal del transportador	m ³ /h	15,63
ρ	Densidad del Sulfato amónico	t/ m ³	1,8

$$I_M = \rho \times I_v = 15,63 \times 1,8 = 28,134 \frac{t}{h}$$

- Con todo esto ya se puede comparar la potencia necesaria P_{St} para elevar el producto con 11º de inclinación y con 20º.

$$P_{St} = \frac{I_M \times H \times g}{3600} = \frac{I_M \times H}{367} \quad (5)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
I_M	Capacidad del transportador	t/h	28,134
H	Altura del transportador	m	0,6/1,2
P_{St}	Potencia requerida por inclinación	KW	-
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²	9,68

De (5):

Inclinación	I_M	H	P_{St}
11°	28,134	0,6	0,046
20°	28,134	1,2	0,086

Tabla18: Potencia requerida por la instalación según inclinación.

Con lo que el incremento de potencia de la instalación debido al cambio de inclinación es el siguiente:

$$\Delta P = P_{st20} - P_{st11} = 0,086 - 0,046 = 0,046 = 0,040KW = 40W$$

Por tanto, si el transportador actual estuviese inclinado 20°, aplicando la ecuación (2) se obtendría que sus necesidades de par y potencia serían las siguientes:

	Unidades	Valor
Velocidad de salida del eje 20°	Rpm	35
Par en el eje de salida 20°	Nm	475
Potencia en el eje 20°	W	1700,67+40 = 1740,67

Tabla 19: Necesidades de Par y Potencia de la instalación en el hipotético caso de que la inclinación del transportador fuese de 20°

2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL EJE NECESARIA PARA TRANSPORTAR EL CAUDAL DESEADO DE PRODUCTO

Para el cálculo de la velocidad necesaria de giro del eje del equipo, se va a seguir la norma UNE 58-224-88.

Hay que tener en cuenta que al cambiar la inclinación en este tipo de equipos, también cambia el coeficiente de llenado. A mayor inclinación, menor coeficiente de llenado. La norma UNE 58-224-88 dice lo siguiente respecto al coeficiente de llenado:

Los coeficientes máximos de llenado dependen del rozamiento y propiedades de adherencia de los materiales transportados, del paso del tornillo y de la inclinación del eje de éste.

En general se utilizan los siguientes:

$\phi \approx 0,45$ en tornillos sin cojinete intermedio y para materiales que fluyen fácilmente y apenas abrasivos (harina, cereales).

$\phi \approx 0,3$ para los graneles más corrientes, con propiedades abrasivas medias con tamaños que varían de granos a terrones (sales, arena, carbón).

$\phi \approx 0,15$ para graneles pesados, muy abrasivos, agresivos (ceniza, grava, minerales).

Estos valores deben reducirse en los casos siguientes:

- paso propulsor extremadamente grande (normalmente $S \approx 0,6 D$ a $1,0 D$);
- inclinación del tornillo (aproximadamente 2% por grado de inclinación hasta 20°);
- tornillos de pequeño diámetro con cojinete intermedio.

Imagen 69: Cálculo de coeficientes de llenado extraídos de la norma UNE 58-224-88.

En el caso de este equipo, se tomará en coeficiente de llenado máximo $\phi = 0,45$ y se le restará un 2% por cada grado de inclinación del eje con lo que se obtiene un coeficiente de llenado de:

$$\phi = 0,45 \times (1 - 0,02 \times 20) = 0,27$$

Como se requiere un caudal de producto de $I_v = 15,63 \frac{m^3}{h}$, de la ecuación siguiente se puede despejar la velocidad necesaria del eje:

$$I_v = 60 \times \phi \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S \times n \quad (6)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
I_v	Caudal de producto	m ³ /h	15,63
ϕ	Coeficiente de llenado	-	0,27
D	Diametro nominal del tornillo	m	0,3
S	Paso del tornillo	m	0,3
n	Revoluciones del tornillo	Rpm	-

Despejando la ecuación (6), se obtiene la velocidad necesaria del eje:

$$n = \frac{I_v}{60 \times \phi \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S} = \frac{15,63}{60 \times 0,27 \times \frac{\pi}{4} \times 0,3^2 \times 0,3} = 45,5 \text{ rpm}$$

3. CÁLCULOS NUEVA REDUCTORA

Con todo lo calculado anteriormente, se necesita una reductora que cumpla con las siguientes características:

	Unidades	Valor
Velocidad de salida del eje	Rpm	>45,5
Par en el eje de salida	Nm	>475

Tabla 20: Parámetros a cumplir por la nueva reductora seleccionada.

Se ha seleccionado la siguiente reductora en el mercado:

Marca	Potencia instalada (KW)	Relacion	Accionamiento	Diametro eje salida (mm)	Factor de servicio	Par Salida (Nm)	rpm salida	Rendimiento	Potencia a la salida (KW)	Peso (kg)	Información adicional
Cydepa MFS 130/30	5,5	30	Preparado acoplar motor B5	45	1,4	885	47	0,79	4,4	66	Carcasa de fundición gris GG25. Doble reten de NITRILO BUTADIENO según DIN 3760. Rodamientos reforzados de alta calidad. Terminación EPOXI (dos componentes), y acabado de ESMALTE MONOCAPA (dos componentes), de color gris (RAL 7672).

Tabla 21: Características de la nueva reductora.

Como se puede apreciar en la tabla de características, la nueva reductora está perfectamente capacitada para satisfacer las necesidades de servicio de la máquina.

Una vez seleccionada la nueva reductora y con el dato de la velocidad de salida del eje, aplicando la ecuación (2) se puede obtener la potencia a la salida del eje:

	Unidades	Valor
Velocidad de salida del eje 20°	Rpm	47
Par en el eje de salida 20°	Nm	475
Potencia en el eje 20°	W	2337.9

Tabla 22: Potencia requerida por la instalación con la nueva reductora.

4. SELECCIÓN DEL ACOPLAMIENTO

Para la selección del acoplamiento se ha seguido las recomendaciones del fabricante de acoplamientos “ALBERT”.

Los datos a conocer para la selección del acoplamiento son:

- La potencia requerida en el eje.
- La velocidad de rotación del eje.
- Tipo de máquina y trabajo que realiza.

Estos son los datos del nuevo transportador:

	Descripción	Unidades	Valor
P_{eje20}	Potencia requerida en el eje con 20° inclinación	KW	2,34
w	Velocidad angular del eje	rpm	47
Tipo de máquina	Transportador helicoidal	-	-

Tabla 23: Parámetros de la nueva instalación necesarios para la selección del acoplamiento.

Con estos datos de entrada el fabricante corrige la potencia en función de 3 factores de servicio:

$$P_{corregida} = P_{eje20} \times F1 \times F2 \times F3 = 2,34 \times 1,4 \times 1,25 \times 1 = 4,095 \text{ KW}$$

F1

MAQUINA CONDUCTIDA	MAQUINA CONDUCTORA			
CONDICIONES DE TRABAJO	M. ELECTRICO TURBINAS	M. DIESEL 6 CILINDROS	M. DIESEL 3-4 CILINDROS	M. DIESEL 1-2 CILINDROS
MARCHA REGULAR - BAJA INERCIA (Ventiladores, generadores, bombas centrífugas, pequeñas máquinas)	1,1	1,4	1,5	2
MARCHA REGULAR - INERCIA MEDIANA (Máquinas Hts., textil, imprenta, madera, transportadoras)	1,4	1,6	1,8	2,3
MARCHA IRREGULAR - INERCIA MEDIANA (Amasadoras, hormigonadoras, grúas, elevadores, cintas transportadoras)	1,8	2	2,3	2,5
MARCHA IRREGULAR - GRANDES INERCIA (Polipastos, cizallas, martillos, prensas, vibradoras, homogenizadores, agitadores)	2,3	2,5	2,7	3,2
MARCHA MUY IRREGULAR - FUERTES SACUDIDAS (Machacadoras, laminadoras, compresores, calandras, molinos, trituradoras, sierras)	2,9	3,1	3,5	3,8

F2

HORAS DE SERVICIO			NUMERO ARRANQUES/HORA			
1 a 6 1	8 a 16 1,1	16 a 24 1,25	1 a 10 1	10 a 50 1,15	50 a 100 1,35	Más de 100 1,5

F3

Tabla 24: Factores de corrección de la potencia para la selección del acoplamiento extraídos del catálogo de fabricante ALBERT.

Una vez obtenida la potencia corregida, se seleccionará en la tabla el diámetro del acoplamiento idóneo para las condiciones de servicio de la máquina:

DIAMETRO DEL ACOPLAMIENTO PARA ESTRELLA AMARILLA DE VULKOLLAN 92° Sh A													
R.P.M.	50	60	75	90	105	120	135	150	175	200	200/40	245	300
10	0,017	0,03	0,07	0,15	0,27	0,41	0,63	0,88	1,3	1,8	3,5	6,8	11,2
20	0,034	0,07	0,14	0,30	0,54	0,82	1,26	1,76	2,6	3,6	7	13,6	22,3
40	0,078	0,14	0,28	0,60	1,08	1,64	2,52	3,52	5,2	7,2	14	27,3	44,7
50	0,085	0,17	0,35	0,75	1,35	2,05	3,15	4,4	6,5	9	17,6	34,1	55,8
100	0,17	0,34	0,70	1,50	2,7	4,1	6,30	8,8	13	18	35,2	68,2	111,7
200	0,34	0,68	1,4	3	5,4	8,2	12,6	17,6	26	36	70,4	136	223
300	0,51	1,02	2,10	4,5	8,1	12,3	18,9	26,4	52	54	105	204	335
500	0,85	1,70	3,50	7,50	13,5	20,5	31,5	44	65	90	176	341	558,5
750	1,27	2,55	5,25	11,2	20,25	30,7	47,2	66	97,5	135	364	511	838
1000	1,7	3,40	7	15	27	41	63	88	130	180	352	682	1117
1500	2,55	5,1	10,5	22,5	40,5	61,5	94,5	132	195	270	528	1023	1675
2000	3,4	6,80	14	30	54	82	126	176	260	360	704	1364	
3000	5,1	10,2	21	45	81	123	189	264	390	540	1056		

Tabla 25: Tabla para la selección del acoplamiento extraída del catálogo del fabricante ALBERT.

Conclusión:

Se seleccionará un acoplamiento de 150mm de diámetro.

5. CÁLCULO DE LAS CHAVETAS

5.1. Introducción

Son tres las dimensiones con las que queda definida una chaveta: la anchura de la chaveta (b), la longitud de la chaveta (L), y la altura de la chaveta (h). Tanto la anchura y la altura de las chavetas, como la ranura de los del eje y del cubo donde van insertadas, vienen definidas por la norma DIN 6885-1. Para el caso de este proyecto, al tener un diámetro del eje de 50mm, se utilizarán chavetas de $b=14$, $h=9$ y L es la longitud que se ha de calcular para poder satisfacer las necesidades de transmisión de par.

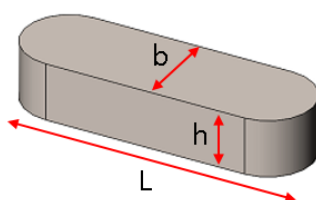


Imagen 70: Medidas que caracterizan una chaveta.

Para el cálculo de las chavetas es necesario conocer el material del eje (donde va ranurado el chavetero), el material de acoplamiento (donde también va ranurado el chavetero) y el material de la chaveta.

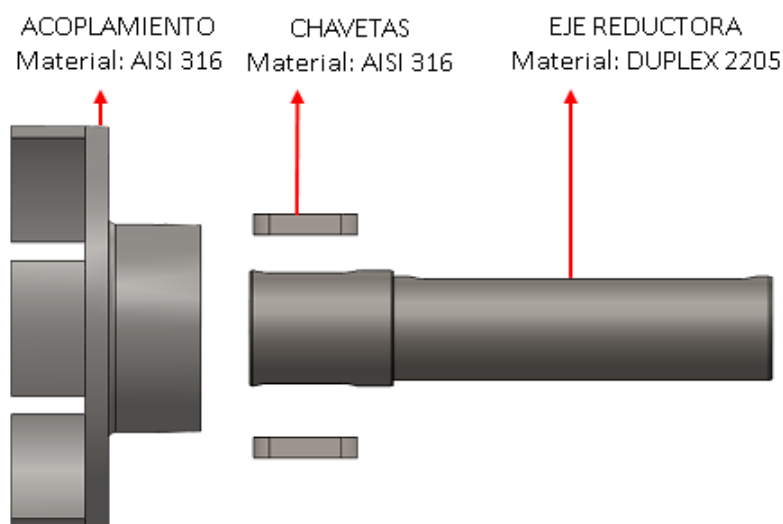


Imagen 71: Materiales seleccionados para los diversos componentes.

Las propiedades mecánicas del material necesarias para el cálculo de las chavetas son las siguientes:

Material : AISI 316			
Propiedades mecánicas	Descripción	Unidades	Valor
S_y	Límite de fluencia	Mpa	205

Tabla 26: Propiedades mecánicas AISI 316

5.2. Cálculo de la longitud necesaria de las chavetas

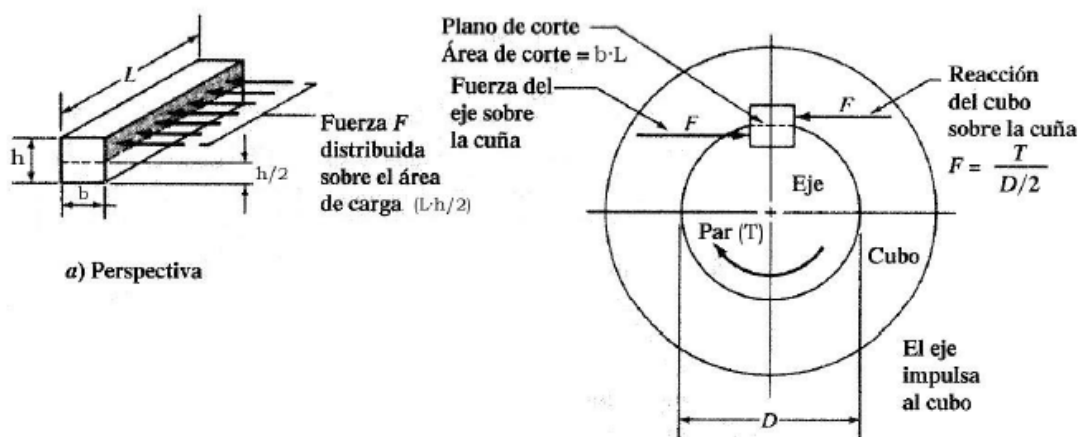


Imagen 72: Fuerzas que actúan en las chavetas y chaveteros. Imagen extraída de los apuntes de diseño de máquinas de Ingeniería mecánica.

La magnitud del esfuerzo cortante se puede calcular con:

$$F = \frac{2 \times T}{D} \quad (7)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
F	Fuerza del eje sobre la cuña	N	-
T	Par torsor	Nm	475
D	Diámetro del eje	m	0,050

Entonces de (7):

$$F = \frac{2 \times T}{D} = \frac{2 \times 475}{0,050} = 19000 \text{ N}$$

Con lo que la tensión tangencial, en la sección cortante, será:

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{cortante}}} = \frac{2 \times T}{D \times b \times L} \quad (8)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
τ	Tensión tangencial	N/m ²	-
T	Par torsor	Nm	475
D	Diámetro del eje	m	0,050
b	Ancho de la chaveta	m	0,014
L	Longitud de la chaveta	m	-

Si se utiliza el criterio de la tensión tangencial máxima para su dimensionado, la longitud L necesaria para que no se produzca el fallo (con un coeficiente de seguridad n_s) vendrá dada por:

$$L \geq \frac{4 \times T \times n_s}{D \times b \times S_y} \quad (9)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
n_s	Coeficiente de seguridad	-	3
T	Par torsor	Nm	475
D	Diámetro del eje	m	0,050
b	Ancho de la chaveta	m	0,014
S_y	Límite de fluencia AISI 316	N/m ²	205E6

Entonces de (9):

$$L \geq \frac{4 \times T \times n_s}{D \times b \times S_y} = \frac{4 \times 475 \times 3}{0,050 \times 0,014 \times 205E6} = 0,0397m$$

Fallo por aplastamiento

El fallo por aplastamiento se relaciona con el esfuerzo de compresión en el lado de la cuña, el lado del cuñero en el eje, o el lado del cuñero en el cubo. El área a compresión es igual para cualquiera de esas zonas:

$$A_{aplastamiento} = L \times \frac{h}{2} \quad (10)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
$A_{aplastamiento}$	Area de compresión de la chaveta, el chavetero del eje o el chavetero del cubo.	m ²	-
h	Altura de la chaveta	m	0,009
L	Longitud de la chaveta	m	-

De este modo, el fallo se produce en la superficie que tenga la menor resistencia a la fluencia por compresión (normalmente, la de la chaveta). Definiendo una tensión admisible de diseño para la compresión como sigue:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n_s} \quad (11)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
σ_{adm}	Tensión admisible para compresión	N/m ²	-
n_s	Coeficiente de seguridad	-	3
S_y	Límite de fluencia AISI 316	N/m ²	205E6

Entonces, la tensión de compresión sobre las caras laterales de la chaveta será:

$$\sigma_{aplastamiento} = \frac{F}{A_{aplastamiento}} = \frac{2 \times T}{D \times \frac{h}{2} \times L} \quad (12)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
$\sigma_{aplastamiento}$	Área de compresión de la chaveta, el chavetero del eje o el chavetero del cubo.	N/m ²	-
T	Par torsor	Nm	475
D	Diámetro del eje	m	0,050
h	Altura de la chaveta	m	0,009
L	Longitud de la chaveta	m	-

Igualando las expresiones (11) y (12) se obtiene la longitud de chaveta necesaria para que no se produzca el fallo por aplastamiento:

$$L \geq \frac{4 \times T \times n_s}{D \times h \times S_y} = \frac{4 \times 475 \times 3}{0,050 \times 0,009 \times 205E6} = 0,0618 \text{ m} \quad (13)$$

Para diseñar una chaveta de sección transversal cuadrada, con menor resistencia de su material que la del eje o la del cubo, con las ecuaciones (9) y (13) se obtiene el mismo resultado. Si la sección trasversal no fuera cuadrada, se escogerá la longitud más desfavorable (la mayor) obtenida de las dos comprobaciones anteriores. Un coeficiente de seguridad adecuado para la mayoría de las aplicaciones industriales es de $n_s = 3$. Si la longitud calculada excediera (o excediese) el espacio disponible para la chaveta, se aumentaría el número de chavetas distribuyéndolas siempre uniformemente en la periferia.

5.3. Conclusión

Debido a que tanto el eje de la reductora como la punta del eje del sinfín son del mismo material (dúplex 2205) y están sometidos al mismo par torsor, se dotará a ambos ejes de dos chavetas de $L=45\text{mm}$, $b=14\text{mm}$, $h=9\text{mm}$, con lo que se dispondrá de una longitud total de 90mm que cumple sobradamente con los 61,8mm exigidos por cálculo.

6. CÁLCULO DEL EJE

6.1. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el eje

6.1.1. Fuerzas en las hélices debido al desplazamiento del producto.

Debido al desplazamiento del producto mediante las hélices del eje, se originará una fuerza normal en cada hélice del eje.

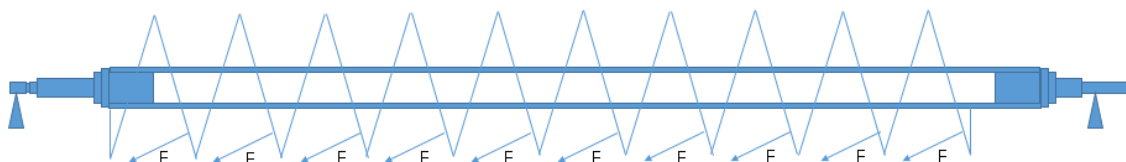


Imagen 73: Fuerzas que actúan sobre el eje debido al transporte de producto.

Una forma de obtener esa fuerza normal es dividir el valor de la potencia necesaria en el eje entre la velocidad lineal de transporte y el número de hélices. Se estima que un 10% de esa potencia del eje es la que necesita la máquina para su accionamiento en vacío, por lo que no se tendrá en cuenta para el cálculo de esta fuerza.

$$F = \frac{P_{eje20} \times 0,90}{V_L \times n^{\circ} \text{ hélices}} \quad (14)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
P_{eje20}	Potencia en el eje inclinación 20	W	2337,9
V_L	Velocidad lineal de transporte del material	m/s	-
$n^{\circ} \text{ hélices}$	Número de hélices del eje del transportador	A	10

Para obtener la velocidad lineal de transporte del material se aplicará la siguiente fórmula:

$$V_L = S \times \frac{n}{60} \quad (15)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
n	Rpm del tornillo	rpm	47
S	Paso del tornillo	m	0,3
V_L	Velocidad lineal de transporte de producto	m/s	10

Por tanto de (15):

$$V_L = S \times \frac{n}{60} = 0,3 \times \frac{47}{60} = 0,235 \text{ m/s}$$

Y de (14):

$$F = \frac{P_{eje20} \times 0,90}{V_L \times n^{\circ} \text{ helices}} = \frac{2337,9 \times 0,90}{0,235 \times 10} = 895,4 \text{ N}$$

Debido a la geometría de la hélice, esta fuerza resultante calculada anteriormente, se descompondrá en una fuerza axial y otra radial:

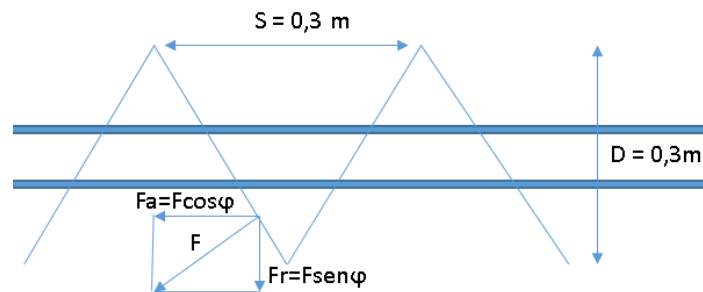


Imagen 74: Descomposición de las fuerzas que actúan sobre las hélices del eje.

Como el ángulo de la hélice es de $\varphi = 45^{\circ}$:

$$F_a = F \times \cos \varphi = 895,4 \times \cos 45 = 633,14 \text{ N}$$

$$F_r = F \times \sin \varphi = 895,4 \times \sin 45 = 633,14 \text{ N}$$

Si el transportador fuese lleno de producto al 100%, la fuerza radial quedaría anulada ya que actúa en sentidos diferentes según el punto en el que se sitúa el producto en la hélice. Pero como va lleno al 27% y el producto no se distribuye uniformemente en las hélices, se estima que un 50 % de la fuerza radial se anulará debido a la existencia de otras fueras de mismo módulo pero de sentido contrario.

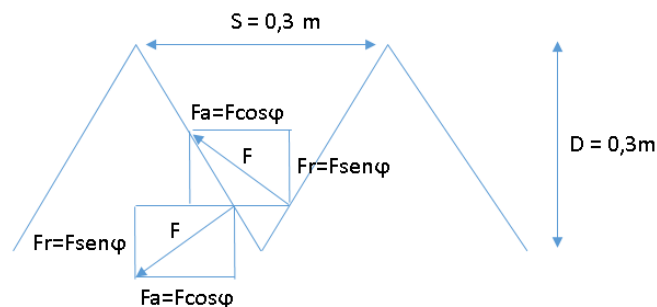


Imagen 75: Descomposición de las fuerzas que actúan sobre las hélices del eje.

Con todo esto se tiene que las fuerzas que actúan sobre las hélices del transportador son las siguientes:

$$F_a = 633,14 \text{ N}$$

$$F_R = 633,14 \times 0,5 = 316,57 \text{ N}$$

Una vez calculadas estas fuerzas, se procederá al cálculo del momento flector que genera la fuerza axial “Fa” calculada anteriormente. Como esta fuerza actúa sobre las hélices y el equipo va lleno al 27%, hay que calcular la distancia entre el punto donde actúa la fuerza axial y el eje neutro del equipo.

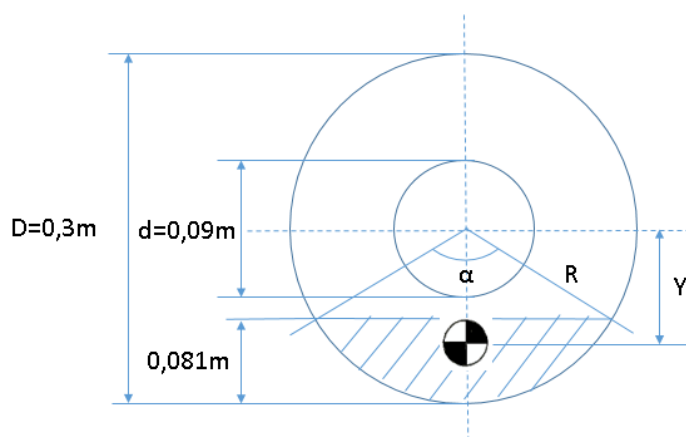


Imagen 76: Punto donde incide la fuerza axial en la hélice para poder calcular el momento flector que esta fuerza produce en el eje.

Resolviendo la geometría de la sección mostrada se obtiene que:

$$\alpha = 2 \times \arccos\left(\frac{0,15 - 0,081}{0,15}\right) = 125,23^\circ = 2,19 \text{ rad}$$

$$Y = \frac{4R \sin^3\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{3(\alpha - \sin \alpha)} = \frac{4 \times 0,15 \times \sin^3\left(\frac{2,19}{2}\right)}{3(2,19 - \sin 2,19)} = 0,10 \text{ m}$$

Con lo que el momento flector que produce el arrastre del producto en cada hélice respecto al eje será:

$$M_f = F_a \times Y = 633,14 \times 0,10 = 63,31 \text{ Nm}$$

Con todo esto se tiene que las fuerzas que actúan sobre el eje debido al desplazamiento de producto son las siguientes:

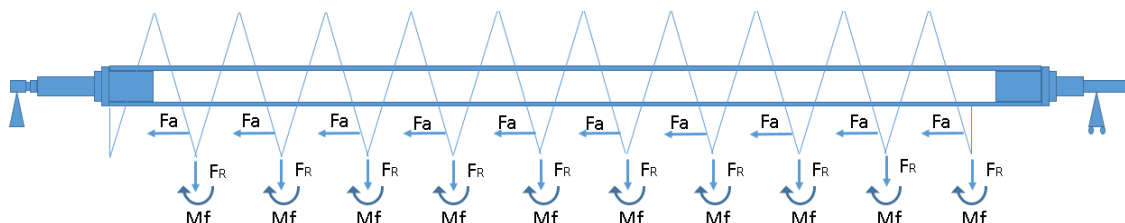


Imagen 77: Diagrama de las fuerzas que actúan sobre el eje.

	Descripción	Unidades	Valor
Fa	Fuerza axial debido al desplazamiento del producto	N	633,14
FR	Fuerza radial	N	316,57
Mf	Momento flector que provoca la fuerza axial	N/m	63,31

Tabla 27: Fuerzas que actúan sobre el eje debido al desplazamiento de producto.

6.1.2. Fuerzas en el eje debido al peso propio.

Además de las fuerzas y momentos originados en el eje debido al desplazamiento del producto también se tiene las fuerzas debidas al peso propio del eje.

A continuación se presenta una tabla con el peso propio de las diferentes secciones del eje. Como el transportador presenta una inclinación de 20° respecto a la horizontal y el eje se ha representado en horizontal, se ha descompuesto el peso en una componente “x” y una componente “y”. El peso propio del eje se ha obtenido con la herramienta propiedades físicas del software informático “Solidworks” modelando el eje y asignándole el material AISI 316 o el material DUPLEX 2205 de los muñones. Se han obtenido los siguientes resultados:

Tramos	Diámetro(m)	Qy (N/m)	Qx(N/m)
3-4	0,047	136,25	49,59
1-3 ; 4-5 ; 23-26	0,05	147,5	53,7
5-6 ; 22-23	0,052	159,75	58,14
6-7 ; 21-22	0,07	289,42	105,34
7-8 ; 8-9 ; 19-20 ; 21-22	0,089	479,24	174,43
9-19	Dext=0,089 ; Dint=0,079	182,3	66,35

Tabla 28: Peso propio descompuesto de las diferentes secciones del eje obtenidos con el software SOLIDWORKS.

Otro peso que se ha tenido en cuenta es el del acoplamiento:

Punto	Diámetro(m)	Qy (N/m)	Qx(N/m)
25	0,175	46,98	17,1

Tabla 29: Peso propio descompuesto del semiacoplamiento obtenidos con el software SOLIDWORKS.

6.2. Obtención de las reacciones, diagramas de esfuerzo y desplazamientos

6.2.1. Introducción

Una vez calculadas todas las fuerzas que actúan sobre el eje del equipo, se ha utilizado el software informático SAP2000V18 para la obtención de los diagramas de esfuerzos, de las reacciones en los apoyos y de los desplazamientos.

La introducción de los datos en el programa se ha realizado de la siguiente manera:

- Se han creado las diferentes secciones transversales en el programa para la correcta obtención de los desplazamientos.
- El peso propio de las diferentes secciones del eje se ha introducido manualmente.
- Se ha representado el eje en horizontal y el transportador está inclinado 20° , por lo que el peso propio del eje se ha introducido con una componente “x” y una componente “y”.

Dicho esto en los siguientes apartados se expondrán los resultados obtenidos con el citado software.

6.2.2. Diagramas de esfuerzos

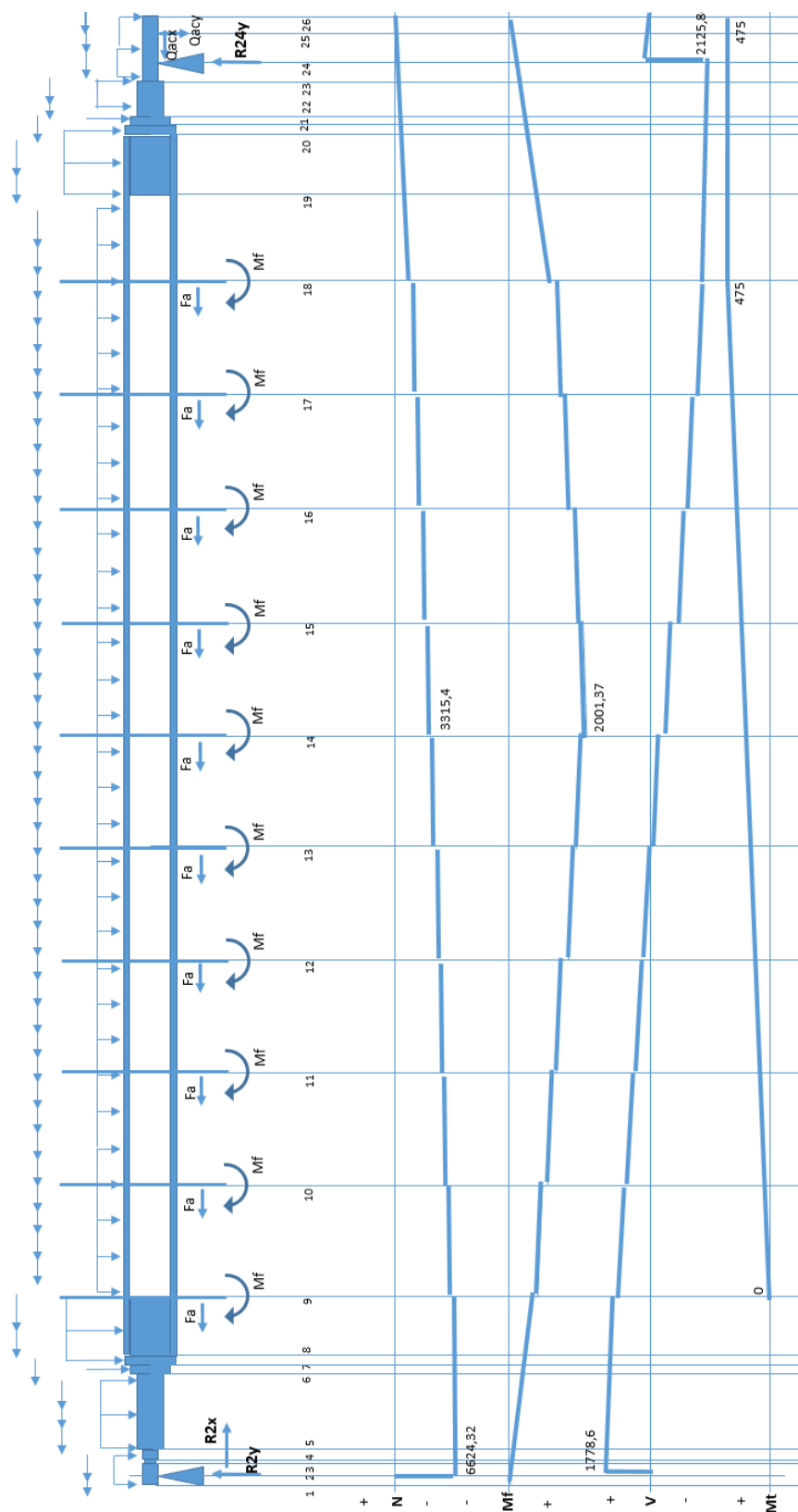


Imagen 78: Diagramas de esfuerzos del eje obtenidos con el software SAP 2000 V18.

6.2.3. Tabla con esfuerzos y diagramas en cada punto

Pto	Elemento	Long parc (m)	Long acum (m)	ESFUERZOS				DESPLAZAMIENTOS	
				N (N)	V (N)	Mf (Nm)	Mt (Nm)	Eje Y (m)	Giro eje Z (rad)
1	0	0	0	0	0	0	0	0,000434	-0,007899
	1	0		2,95	-8,11	-0,22	0		
2	1	0	0,055	-6624,32	1778,63	-0,22	0	0	-0,007899
	2	0,055		-6622,93	1774,82	45,62	0		
3	2	0	0,0808	-6622,93	1774,82	45,62	0	-0,000204	-0,007889
	3	0,0258		-6622,83	1774,53	49,43	0		
4	3	0	0,08295	-6622,83	1774,53	49,43	0	-0,000221	-0,007887
	4	0,00215		-6619,76	1766,11	150,43	0		
5	4	0	0,14	-6619,76	1766,11	150,43	0	-0,00067	-0,007793
	5	0,05705		-6608,72	1735,76	483,11	0		
6	5	0	0,33	-6608,72	1735,76	483,11	0	-0,002086	-0,006942
	6	0,19		-6607,66	1732,87	500,45	0		
7	6	0	0,34	-6607,66	1732,87	500,45	0	-0,002155	-0,006921
	7	0,01		-6606,79	1730,47	509,11	0		
8	7	0	0,345	-6606,79	1730,47	509,11	0	-0,00219	-0,006917
	8	0,005		-6580,63	1658,59	763,29	47,5		
9	8	0	0,495	-5947,49	1342,02	826,6	47,5	-0,003217	-0,006767
	9	0,15		-5927,58	1287,33	1221	95		
10	9	0	0,795	-5294,44	970,76	1284,31	95	-0,005115	-0,005795
	10	0,3		-5274,54	916,07	1567,33	142,5		
11	10	0	1,095	-4641,4	599,5	1630,64	142,5	-0,00666	-0,004442
	11	0,3		-4621,49	544,81	1802,29	190		
12	11	0	1,395	-3988,35	228,24	1865,6	190	-0,007755	-0,002814
	12	0,3		-3968,45	173,55	1925,86	237,5		
13	12	0	1,695	-3335,31	-143,02	1989,17	237,5	-0,008331	-0,001016
	13	0,3		-3315,4	-197,71	1938,06	285		
14	13	0	1,995	-2682,26	-514,28	2001,37	285	-0,008355	0,000847
	14	0,3		-2662,36	-568,97	1838,88	332,5		
15	14	0	2,295	-2029,22	-885,54	1902,19	332,5	-0,007822	0,002668
	15	0,3		-2009,31	-940,23	1628,33	380		
16	15	0	2,595	-1376,17	-1256,8	1691,64	380	-0,006761	0,004342
	16	0,3		-1356,27	-1311,49	1306,39	427,5		
17	16	0	2,895	-723,13	-1628,06	1369,7	427,5	-0,005232	0,005764
	17	0,3		-703,22	-1682,75	873,08	475		
18	17	0	3,195	-70,08	-1999,32	936,39	475	-0,003326	0,006829
	18	0,3		-58,8	-2030,32	593,87	475		
19	18	0	3,365	-58,8	-2030,32	593,87	475	-0,002124	0,00724
	19	0,17		-32,64	-2102,2	283,93	475		
20	19	0	3,515	-32,64	-2102,2	283,93	475	-0,001029	0,007344
	20	0,15		-31,77	-2104,6	273,41	475		
21	20	0	3,52	-31,77	-2104,6	273,41	475	-0,000992	0,007346
	21	0,005		-31,03	-2106,62	258,68	475		
22	21	0	3,527	-31,03	-2106,62	258,68	475	-0,00094	0,007354
	22	0,007		-27,25	-2117,01	121,41	475		
23	22	0	3,592	-27,25	-2117,01	121,41	475	-0,000455	0,007528
	23	0,065		-24,03	-2125,86	-5,88	475		
24	23	0	3,652	-24,03	66,01	-5,88	475	0	0,007586
	24	0,06		-18,71	51,41	-0,0664	475		
25	24	0	3,751	-1,61	4,43	-0,0664	475	0,000751	0,007581
	25	0,099		0	0	0	475		
26	25	0	3,781	0	0	0	475	0,000978	0,007581
	0	0,03		0	0	0	475		

Tabla 30: Fuerzas, momentos y desplazamientos a los que está sometido cada punto del eje. Datos extraídos del SAP 2000 V18.

6.2.4. Reacciones en los apoyos

REACCIONES EN LOS APOYOS		
PUNTO	R _x (N)	R _y (N)
2	6627,27	1786,74
24	0	2191,86

Tabla 30: Reacciones en los apoyos.

7. CÁLCULO A FATIGA Y FLUENCIA DEL EJE

7.1. Introducción

Una vez obtenidos los diagramas de esfuerzos axiles, flectores, cortantes y torsores, se procederá a verificar que el eje del equipo trabaja de forma segura tanto para cargas estáticas (fluencia) como para cargas dinámicas (fatiga).

Para la verificación de cualquier sección del eje se tendrá en cuenta lo siguiente:

1) En las secciones sometidas a esfuerzos axiles y torsores, estos esfuerzos serán estáticos, es decir, aunque se produzca el giro del eje los esfuerzos no cambiarán de valor ni de signo.

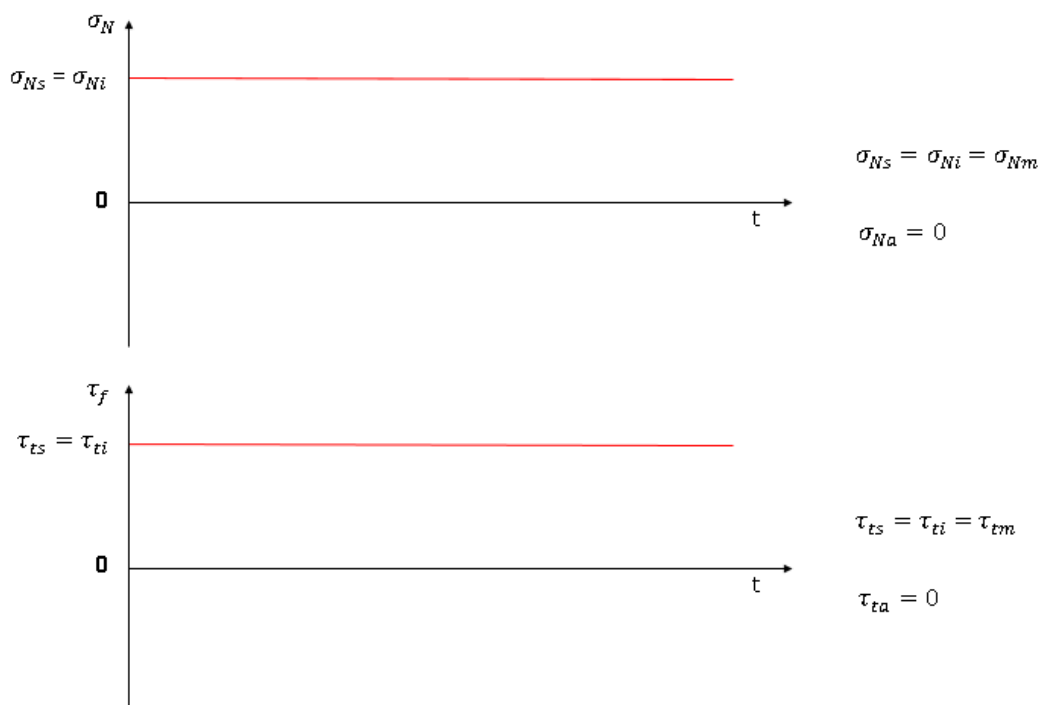


Imagen 79: Representación de fuerzas axiles y momentos torsores que actúan sobre las secciones del eje.

$$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns} = \frac{F_N}{\frac{\pi}{4}d^2} ; \quad \sigma_{Na} = 0 \quad (16)$$

$$\tau_{tm} = \tau_{ts} = \frac{16M_t}{\pi d^3} ; \quad \tau_{ta} = 0 \quad (17)$$

Donde:

	Descripción	Unidades
σ_{Nm}	Tensión normal media	Mpa
σ_{Ns}	Tensión normal superior	Mpa
F_N	Fuerza normal (axil)	N
d	Diámetro	Mm
σ_{Na}	Tensión normal alternante	Mpa
τ_{tm}	Esfuerzo torsor medio	Mpa
τ_{ts}	Esfuerzo torsor superior	Mpa
M_t	Momento torsor	Nm
τ_{ta}	Esfuerzo torsor alternante	Mpa

2) En las secciones sometidas a esfuerzo flector y a cortante, debido al giro del eje, estos esfuerzos serán alternantes, es decir, irán cambiando de signo.

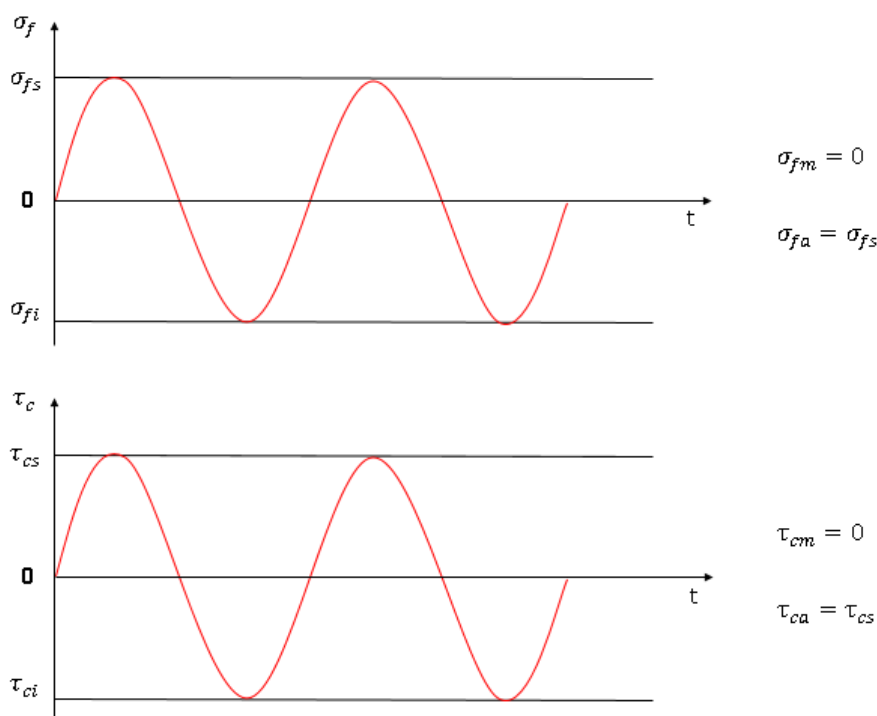


Imagen 80: Representación de fuerzas cortantes y momentos flectores que actúan sobre las secciones del eje.

$$\tau_{ca} = \tau_{cs} = \frac{F_c}{\pi d^2} ; \quad \tau_{cm} = 0 \quad (18)$$

$$\sigma_{fa} = \sigma_{fs} = \frac{32M_f}{\pi d^3} ; \quad \sigma_{fm} = 0 \quad (19)$$

Donde:

	Descripción	Unidades
τ_{ca}	Tensión cortante alternante	Mpa
τ_{cs}	Tensión cortante superior	Mpa
F_c	Fuerza cortante	N
τ_{cm}	Tensión cortante media	Mpa
d	Diámetro	Mm
σ_{fa}	Tensión flexión alternante	Mpa
σ_{fs}	Tensión flexión superior	Mpa
M_f	Momento flector	Nm
σ_{fm}	Tensión flexión media	Mpa

3) Una vez obtenidas las tensiones se estudiará el eje a fatiga. Para ello lo primero que se obtendrá serán los diferentes coeficientes modificativos del límite de fatiga. Estos coeficientes están tabulados y cada uno de ellos depende de un factor que afecta al límite real de fatiga:

K_{carga}: Es función del tipo de carga (axial, flexión, torsión).

K_{tamaño}: Es función del tamaño de la pieza.

K_{superficie}: Es función del acabado superficial.

K_{temperatura}: Es función de la temperatura de trabajo.

K_{confiabilidad}: Es función de la confiabilidad deseada para el diseño.

K_{concentración}: Es función de la concentración de tensiones existente.

K_{diversos}: Es función de otros factores que pueda considerar el diseñador.

4) Con estos coeficientes se obtendrá el límite de fatiga real (S_e):

$$S_e = K_{carga} \times K_{tamaño} \times K_{superf} \times K_{temp} \times K_{confiab} \times K_{conc} \times S_{et} \quad (20)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
S_e	Límite de fatiga real	MPa	-
S_{et}	Límite ideal de fatiga	MPa	-

5) El siguiente paso será calcular la componente aumentada del esfuerzo flector:

$$\sigma'_{fa} = \sigma_{fa} \times \frac{S_{et}}{S_e} \quad (21)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
S_e	Límite de fatiga real	MPa	-
S_{et}	Límite ideal de fatiga	MPa	-
σ'_{fa}	Componente aumentada del esfuerzo flector	Mpa	-

6) Seguido a esto se calculará el esfuerzo equivalente medio o estático y el esfuerzo equivalente alternante:

$$\sigma_{meq} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{Nm})^2 + 3(\tau_{tm})^2} \quad (22)$$

$$\sigma'_{aeq} = \sqrt{(\sigma'_{fa} + \sigma'_{Na})^2 + 3(\tau'_{ta})^2} \quad (23)$$

7) Ahora ya se puede calcular el factor de seguridad a fatiga (FS):

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_{mec}}{S_{ut}} + \frac{\sigma'_{aeq}}{S_{et}} \quad (24)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
FS	Factor de seguridad	-	-
S_{ut}	Resistencia límite a tracción DUPLEX 2205	MPa	621
S_{et}	Límite ideal de fatiga (DUPLEX 2205) $S_{et} = 0,5 \times S_{ut}$	MPa	310,5
σ_{mec}	Tensión equivalente media o estática	MPa	-
σ'_{aeq}	Tensión equivalente alternante	MPa	-

8) Por último se calculará el factor de seguridad a fluencia:

- Para ello primero se calculará el esfuerzo equivalente superior según Von Mises:

$$\sigma_{Seq} = \sqrt{(\sigma_{fs} + \sigma_{Ns})^2 + 3(\tau_{ts})^2} \quad (25)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
σ_{Seq}	Tensión equivalente superior según Von Mises	MPa	-
σ_{fs}	Tensión de flexión superior	MPa	-
σ_{Ns}	tensión normal superior	MPa	-
τ_{ts}	Tensión de torsión superior	MPa	-

- Posteriormente se calculará el factor de seguridad:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{Seq}} \quad (26)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
FS	Factor de seguridad	-	-
σ_{Seq}	Tensión equivalente superior según Von Mises	MPa	-
S_y	Límite de fluencia DUPLEX 2205	MPa	448

7.2. Verificación a fatiga y a fluencia de las distintas secciones del eje

En este apartado se estudiarán las secciones consideradas más críticas del eje. Estas secciones han sido catalogadas como críticas por varios motivos:

- Cambios de sección en el eje que provocan concentración de tensiones.
- Chaveteros que provocan concentraciones de esfuerzos.
- Zonas del eje donde el esfuerzo flector es máximo.

A continuación se muestra una imagen del eje con las secciones seleccionadas y una tabla donde se describe la causa por la que se ha sometido a estudio esa sección, los esfuerzos que actúan sobre ella y el punto donde se encuentra:

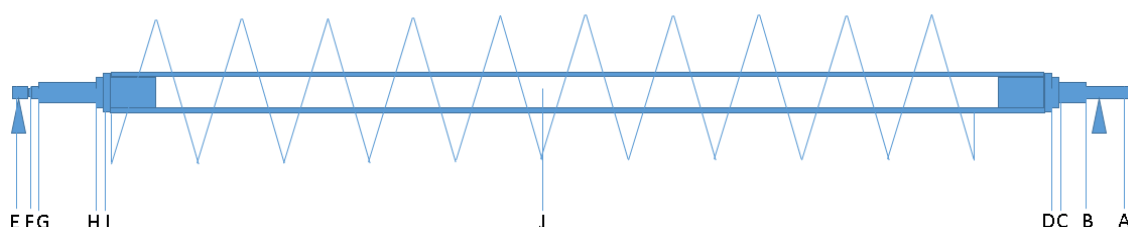


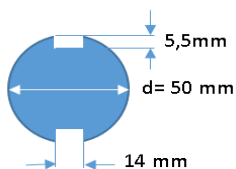
Imagen 81: Secciones que se van a estudiar a fatiga y a fluencia en el eje.

Sección	Punto	Causa	Esfuerzos			
			N (N)	V (N)	Mf (Nm)	Mt (Nm)
A	25	Chaveteros	-1,61	4,43	-0,07	475
B	23	Cambio de sección	-27,25	-2117,01	121,41	475
C	22	Cambio de sección	-31,03	-2106,62	258,68	475
D	21	Cambio de sección	-31,77	-2104,6	273,41	475
E	2	Máximo axil	-6622,93	1774,82	45,62	0
F	4	Cambio de sección	-6619,76	1766,11	150,43	0
G	5	Cambio de sección	-6608,72	1735,76	483,11	0
H	6	Cambio de sección	-6607,66	1732,87	500,45	0
I	7	Cambio de sección	-6606,79	1730,47	509,11	0
J	14	Máximo flector	-2682,26	-514,28	2001,37	285

Tabla 31: Esfuerzos en las diferentes secciones del eje para su posterior comprobación a fatiga.

7.2.1. Sección A

SECCIÓN A



d	0,05	m
---	------	---

MATERIAL

DUPLEX 2205	S_y	448	Mpa	S_{ut}	621	Mpa	S_{et}	310,5	Mpa
-------------	-------	-----	-----	----------	-----	-----	----------	-------	-----

ESFUERZOS

Axil	N	Cortante	N	Flector	Nm	Torsor	Nm
1,61		4,43		0,07		475	

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	0,0008	Mpa
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	19,3532	Mpa
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,0023	Mpa
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	0,0057	Mpa

σ_{Na}	0
τ_{ta}	0
τ_{cm}	0
σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,65	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	0,39	(Flexión, Torsión, dureza AISI 316 < 200HB, 2 chaveteros)
-----------------	------	---

Se	53,13	Mpa
----	-------	-----

COMPONENTE AUMENTADA ESFUERZO FLECTOR

σ'_{fa}	0,0333	Mpa
----------------	--------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{asq}	0,0333	Mpa
-----------------	--------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	18,5
----	------

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTATICO

σ_{msq}	33,5208	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISSES

σ_{Seq}	33,5208	Mpa
----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	13,4
----	------

7.2.2. Sección B

SECCIÓN B

D=52mm

R 1,50mm

d=50mm

d

0,05

m

MATERIAL

DUPLEX 2205

S_y

448

Mpa

S_{ut}

621

Mpa

S_{et}

310,5

Mpa

ESFUERZOS

Axil

27,25

N

Cortante

2117,01

N

Flector

121,41

Nm

Torsor

475

Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Na}$

0,0139

Mpa

$\tau_{tm} = \tau_{ts}$

19,3532

Mpa

$\tau_{ca} = \tau_{cs}$

1,0782

Mpa

$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$

9,8934

Mpa

σ_{Na}

0

τ_{ta}

0

τ_{cm}

0

σ_{fm}

0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga

1

(Flexión, Torsión)

K tamaño

0,81

K superficie

0,77

(Maquinado, Sut=0,51Gpa)

K temperatura

1,01

(Temperatura de trabajo=50°C)

K confiabilidad

0,87

(-95%)

K concentración

0,76

(D/d=52/50=1,04 ; Kt=1,9; q=0,35)

Se

129,03

Mpa

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}

23,8075

Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{aeq}

23,8075

Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS

7,7

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{meq}

33,5208

Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

σ_{Seq}

34,9542

Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS

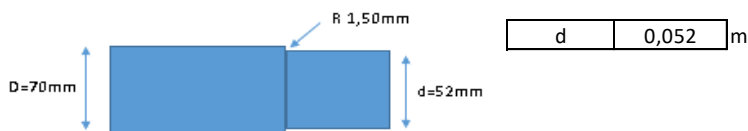
12,8

CÁLCULOS

143

7.2.3. Sección C

SECCIÓN C



MATERIAL

DUPLEX 2205 S_y 448 Mpa S_{ut} 621 Mpa S_{gt} 310,5 Mpa

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
31,03 N	2106,62 N	258,68 Nm	475 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	0,0146	Mpa
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	17,2050	Mpa
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,9919	Mpa
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	18,7393	Mpa

σ_{Na}	0
τ_{ta}	0
τ_{cm}	0
σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,81	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	0,4	($D/d=70/52=1,35$; $K_t=3$; $q=0,75$)
-----------------	-----	---

Se	67,91	Mpa
----	-------	-----

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}	85,6793	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{seq}	85,6793	Mpa
-----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	3,1
----	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{meq}	29,7999	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

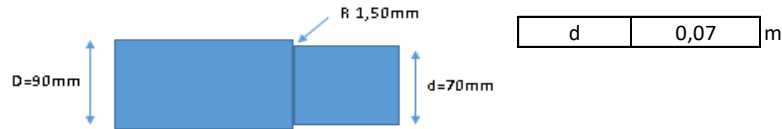
σ_{Seq}	35,2099	Mpa
----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	12,7
----	------

7.2.4. Sección D

SECCIÓN D



MATERIAL

DUPLEX 2205 S_y 448 Mpa S_{ut} 621 Mpa S_{at} 310,5 Mpa

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
31,77 N	2104,6 N	273,41 Nm	475 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	0,0083	Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	7,0529	Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,5469	Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	8,1193	Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,79	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	0,4	($D/d=90/70=1,29$; $K_t=3$; $q=0,75$)
-----------------	-----	---

Se	66,23	Mpa
----	-------	-----

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}	38,0629	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{asq}	38,0629	Mpa
-----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	7,0
----	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTATICO

σ_{meq}	12,2160	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

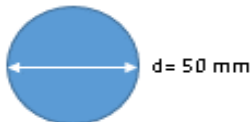
σ_{Seq}	14,6727	Mpa
----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	30,5
----	------

7.2.5. Sección E

SECCIÓN E



d	0,05	m
---	------	---

MATERIAL

DUPLEX 2205	S_y	448	Mpa	S_{ut}	621	Mpa	S_{et}	310,5	Mpa
-------------	-------	-----	-----	----------	-----	-----	----------	-------	-----

ESFUERZOS

Axil	6622,93	N	Cortante	1774,82	N	Flector	45,62	Nm	Torsor	0	Nm
------	---------	---	----------	---------	---	---------	-------	----	--------	---	----

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	3,3730	Mpa
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	0,0000	Mpa
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,9039	Mpa
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	3,7175	Mpa

σ_{Na}	0
τ_{ta}	0
τ_{cm}	0
σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,81	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	1
-----------------	---

Se	169,78	Mpa
----	--------	-----

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}	6,7987	Mpa
----------------	--------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{saq}	6,7987	Mpa
-----------------	--------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	36,6
----	------

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTATICO

σ_{msq}	3,3730	Mpa
----------------	--------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISSES

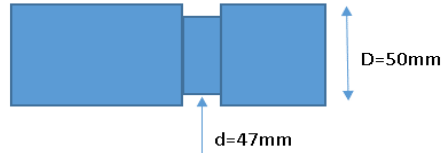
σ_{saq}	7,0905	Mpa
----------------	--------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	63,2
----	------

7.2.6. Sección F

SECCIÓN F



d 0,047 m

MATERIAL

DUPLEX 2205 S_y 448 Mpa S_{ux} 621 Mpa S_{ut} 310,5 Mpa

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
6619,76 N	1766,11 N	150,43 Nm	0 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	3,8155 Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	0,0000 Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	1,0180 Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	14,7585 Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,82	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{GPa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	0,59	(D/d=50/47=1,06; $K_t=3$; $q=0,35$)
-----------------	------	---------------------------------------

Se	101,40 Mpa
----	------------

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ_{fa}	45,1901 Mpa
---------------	-------------

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ_{aeq}	45,1901 Mpa
----------------	-------------

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	6,6
----	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{meq}	3,8155 Mpa
----------------	------------

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

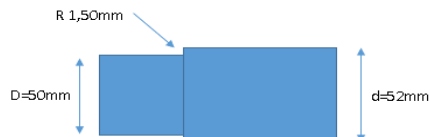
σ_{Seq}	18,5740 Mpa
----------------	-------------

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	24,1
----	------

7.2.7. Sección G

SECCIÓN G



d 0,05 m

MATERIAL

DUPLEX 2205 S_y 448 Mpa S_{uz} 621 Mpa S_{sz} 310,5 Mpa

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
6608,72 N	1735,76 N	483,11 Nm	0 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	3,3658	Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	0,0000	Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,8840	Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	39,3673	Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,81	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración 0,76 (D/d=52/50=1,04 ; Kt=1,9; q=0,35)

Se 129,03 Mpa

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa} 94,7340 Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{saq} 94,7340 Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS 3,2

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{msq} 3,3658 Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

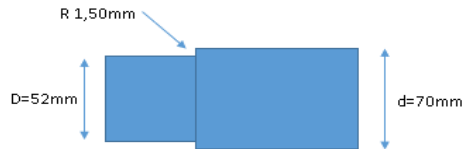
σ_{saq} 42,7331 Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS 10,5

7.2.8. Sección H

SECCIÓN H



d 0,052 m

MATERIAL

DUPLEX 2205 S_y 448 Mpa S_{ut} 621 Mpa S_{et} 310,5 Mpa

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
6607,66 N	1732,87 N	500,45 Nm	0 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	3,1114	Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	0,0000	Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,8160	Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	36,2536	Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,81	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración 0,4 (D/d=70/52=1,35 ; $K_t=3$; $q=0,75$)

Se 67,91 Mpa

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa} 165,7578 Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{asq} 165,7578 Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS 1,9

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{maq} 3,1114 Mpa

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

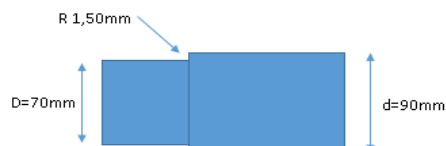
σ_{saq} 39,3649 Mpa

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS 11,4

7.2.9. Sección I

SECCIÓN I



d	0,07	m
---	------	---

MATERIAL

DUPLEX 2205	S_y	448	Mpa	S_{ut}	621	Mpa	S_{at}	310,5	Mpa
-------------	-------	-----	-----	----------	-----	-----	----------	-------	-----

ESFUERZOS

Axil	Cortante	Flector	Torsor
6606,79 N	1730,47 N	509,11 Nm	0 Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	1,7167	Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	0,0000	Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,4497	Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	15,1188	Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,79	

K superficie	0,77	(Maquinado, $S_{ut}=0,51\text{Gpa}$)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50 °C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	0,4	(D/d=90/70=1,29 ; $K_t=3$; $q=0,75$)
-----------------	-----	--

Se	66,23	Mpa
----	-------	-----

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}	70,8759	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{asq}	70,8759	Mpa
-----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	4,3
----	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{msq}	1,7167	Mpa
----------------	--------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISSES

σ_{sq}	16,8356	Mpa
---------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	26,6
----	------

7.2.10. Sección J

SECCIÓN J



d	0,09	m
---	------	---

MATERIAL

AISI 316	S_y	206	Mpa	S_{ut}	510	Mpa	S_{et}	255	Mpa
----------	-------	-----	-----	----------	-----	-----	----------	-----	-----

ESFUERZOS

Axil		Cortante		Flector		Torsor	
2682,26	N	514,28	N	2001,37	Nm	285	Nm

$\sigma_{Nm} = \sigma_{Ns}$	0,4216	Mpa	σ_{Na}	0
$\tau_{tm} = \tau_{ts}$	1,9911	Mpa	τ_{ta}	0
$\tau_{ca} = \tau_{cs}$	0,0808	Mpa	τ_{cm}	0
$\sigma_{fa} = \sigma_{fs}$	27,9640	Mpa	σ_{fm}	0

COEFICIENTES MODIFICATIVOS LÍMITE DE FATIGA

K carga	1	(Flexión, Torsión)
K tamaño	0,79	

K superficie	0,77	(Maquinado, Sut=0,51Gpa)
K temperatura	1,01	(Temperatura de trabajo=50°C)
K confiabilidad	0,87	(-95%)

K concentración	1	(D/d=90/70=1,29 ; Kt=3; q=0,75)
-----------------	---	---------------------------------

Se	135,99	Mpa
----	--------	-----

ESFUERZOS EQUIVALENTES ALTERNANTES

σ'_{fa}	52,4374	Mpa
----------------	---------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ALTERNANTE

σ'_{seq}	52,4374	Mpa
-----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FATIGA

NS	4,7
----	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE ESTÁTICO

σ_{meq}	3,4743	Mpa
----------------	--------	-----

ESFUERZO EQUIVALENTE SUPERIOR VON MISES

σ_{Seq}	28,5944	Mpa
----------------	---------	-----

FACTOR DE SEGURIDAD A FLUENCIA

NS	7,2
----	-----

7.3. Conclusión

Los mínimos coeficientes de seguridad que se han obtenido son de 1,9 a fatiga y de 7,2 a fluencia, lo que quiere decir que el eje cumple sobradamente tanto para fatiga como para fluencia.

8. CÁLCULO DE LA VIDA DE LOS RODAMIENTOS

8.1. Introducción

Para el cálculo de la vida de los rodamientos se utilizará la herramienta SKF bearing calculator de la página web del fabricante de rodamientos SKF.

En primer lugar se introducirá el modelo de rodamientos que en el caso de esta máquina es el BS2-2211-2CSK/VT143

Select bearing



Imagen 82: Captura de pantalla de la aplicación de SKF para el cálculo de la vida de los rodamientos.

Posteriormente se seleccionará bearing life:

Select calculation



Imagen 83: Captura de pantalla de la aplicación de SKF para el cálculo de la vida de los rodamientos.

En el siguiente paso se introducirán los datos requeridos por la aplicación:

Enter input parameters

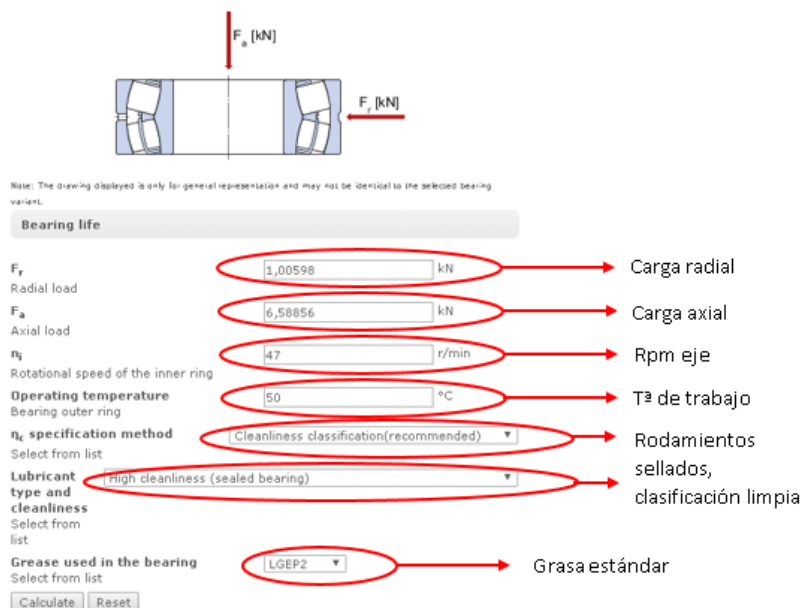


Imagen 84: Captura de pantalla de la aplicación de SKF para el cálculo de la vida de los rodamientos.

Por último, presionando el botón “calcular” aparecerá la vida estimada de los rodamientos y más parámetros:

Result

L_{10mh} SKF rating life	27000 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF}	0.48
κ Viscosity ratio	0.59
P Equivalent dynamic bearing load	28.3 kN
η_c Factor for contamination level	0.56
ν₁ Required kinematic viscosity for κ=1	190.4 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	55700 hour
C/P Load ratio	4.6

Imagen 85: Captura de la aplicación de SKF para el cálculo de la vida de los rodamientos.

Una vez detallado el funcionamiento de la aplicación de SKF se introducirán los valores para ambos rodamientos y se observará la vida de cada uno de ellos.

8.2. Vida estimada del rodamiento del lado bajo del transportador

RODAMIENTO 1 (LADO BAJO DEL TRANSPORTADOR)			
MODELO	PUNTO DE SITUACIÓN EN EL EJE	R2x (N)	R2y (N)
BS2-2211-2CSK/VT143	2	6627,27	1786,74

Tabla 32: Reacciones en el punto donde va instalado el rodamiento del lado bajo.

Resultado

Result

L_{10mh} SKF rating life	24400 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF}	0.48
κ Viscosity ratio	0.59
P Equivalent dynamic bearing load	29 kN
η_c Factor for contamination level	0.56
ν₁ Required kinematic viscosity for κ=1	190.4 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	51300 hour
C/P Load ratio	4.4

Imagen 86: Vida de los rodamientos obtenida para el rodamiento del lado bajo del transportador.

Vida estimada:

$$51300 \text{ horas} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 5,87 \text{ años}$$

8.3. Vida estimada del rodamiento del lado alto del transportador

RODAMIENTO 1 (LADO BAJO DEL TRANSPORTADOR)			
MODELO	PUNTO DE SITUACIÓN EN EL EJE	Rax (N)	Ray (N)
BS2-2211-2CSK/VT143	24	0	2191,86

Tabla 33: Reacciones en el punto donde va instalado el rodamiento del lado alto.

Resultado

Result

L_{10mh} SKF rating life	>1000000 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF}	20.2
κ Viscosity ratio	0.59
P Equivalent dynamic bearing load	2.19 kN
η_c Factor for contamination level	0.56
ν₁ Required kinematic viscosity for κ=1	190.4 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	>1000000 hour
C/P Load ratio	58.9

Imagen 87: Vida de los rodamientos obtenida para el rodamiento del lado alto del transportador.

Vida estimada:

$$1000000 \text{ horas} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 114,16 \text{ años}$$

8.4. Comprobación de que no se supera la máxima desalineación permisible en los rodamientos

Otro de los parámetros a controlar a la hora de seleccionar los rodamientos es la desalineación en el eje permitida. Los rodamientos seleccionados (rodamientos de rodillos a rótula) admiten grandes desalineaciones y además son autoalineables. No obstante, se va a comprobar que se cumple este parámetro y que los rodamientos podrán trabajar correctamente:

Desalineación angular permisible para rodamientos abiertos	
Serie del rodamiento Tamaños ¹⁾	Desalineación angular permisible
-	grados
Serie 213	2
Serie 222 Tamaños < 52 Tamaños ≥ 52	2 1,5
Serie 223	3
Serie 231 Tamaños < 60 Tamaños ≥ 60	2 3
Serie 232 Tamaños < 52 Tamaños ≥ 52	2,5 3,5
Serie 238	1,5
Serie 239	1,5
Serie 240	2
Serie 241 Tamaños < 64 Tamaños ≥ 64	2,5 3,5
Serie 248	1,5
Serie 249	2,5

La desalineación permitida de los rodamientos seleccionados es de 2°.

Imagen 88: Desalineaciones permitidas para los rodamientos de rodillos a rótula extraídas del catálogo de SKF.

De los datos extraídos del software SAP 2000 se puede observar la desalineación (en radianes) de los puntos del eje donde van montados los rodamientos (puntos 2 y 24).

	PUNTO	DESALINEACIÓN EJE (rad)	DESALINEACIÓN PERMITIDA
RODAMIENTO 1 (LADO BAJO)	2	-0,007899	2° = 0,035 rad
RODAMIENTO 2 (LADO ALTO)	24	0,007586	

Tabla 34: Desalineaciones del eje en el punto donde van instalados los rodamientos. Datos obtenidos con el software SAP 200 V18.

Como se puede observar la desalineación del eje no sobrepasa la admitida por los rodamientos, con lo que estos podrán funcionar correctamente.

9. CÁLCULO DE LA DILATACIÓN LONGITUDINAL DEL EJE

La dilatación longitudinal del eje es importante para saber el espacio libre que se debe dejar al rodamiento superior para que no se creen tensiones innecesarias. La fórmula para calcular la dilatación longitudinal es la siguiente:

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T \quad (27)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
ΔL	Incremento de longitud	m	-
L_{01}	Longitud inicial de la punta del lado bajo	m	0,495
L_{02}	Longitud inicial de la punta del lado alto	m	0,416
L_{03}	Longitud inicial del eje	m	3,170
α_{216}	Coefficiente de dilatación térmica AISI 316	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	1,6E-5
α_{2205}	Coefficiente de dilatación térmica DUPLEX 2205	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	1,3E-5
ΔT	Variación de la Tª. De 25 $^{\circ}\text{C}$ a 50 $^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	25

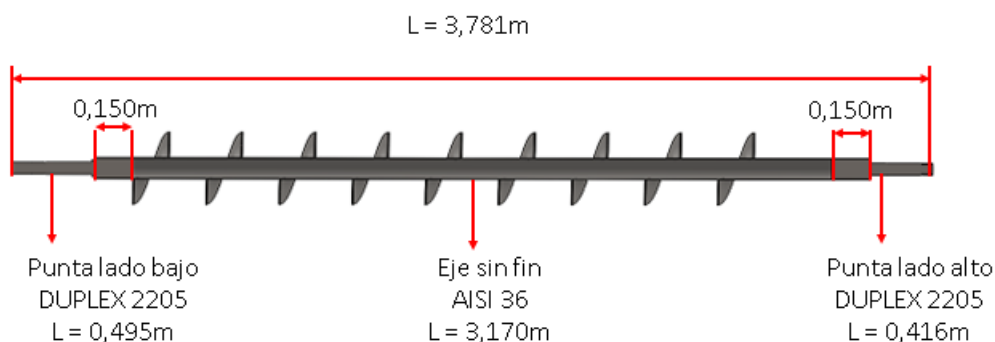


Imagen 89: Longitudes y materiales del eje.

De (27):

Punta lado bajo:

$$\Delta L_1 = L_{01} \times \alpha_{2205} \times \Delta T = 0,495 \times 1,3E - 5 \times (50 - 25) = 0,00016 \text{ m}$$

Punta lado alto:

$$\Delta L_2 = L_{02} \times \alpha_{2205} \times \Delta T = 0,416 \times 1,3E - 5 \times (50 - 25) = 0,0001352 \text{ m}$$

Eje sinfín:

$$\Delta L_3 = L_{03} \times \alpha_{316} \times \Delta T = (3,170 - 2 \times 0,150) \times 1,6E - 5 \times (50 - 25) = 0,00115 \text{ m}$$

Entonces, la dilatación total del eje será de:

$$\Delta L_{total} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 = 0,00168 \text{ m} = 1,44 \text{ mm}$$

10. CÁLCULO DEL SOPORTE (LADO BAJO)

Para calcular si el soporte de los rodamientos aguanta los esfuerzos a los que va someterse, se ha considerado la tapa como una pieza única, ya que se presupone que al ser fabricada en un taller las soldaduras serán de tan buena calidad que se puede suponer que las piezas soldadas pertenecen al material base.

Las reacciones en los apoyos, obtenidas anteriormente, son las siguientes:

REACCIONES EN LOS APOYOS		
PUNTO	R _x (N)	R _y (N)
2	6627,27	1786,74
24	0	2191,86

Tabla 35: Reacciones en los apoyos del eje.

El punto número 2 de la tabla de arriba muestra las reacciones que hay en el rodamiento debido a los esfuerzos a los que está sometido el eje durante su funcionamiento.

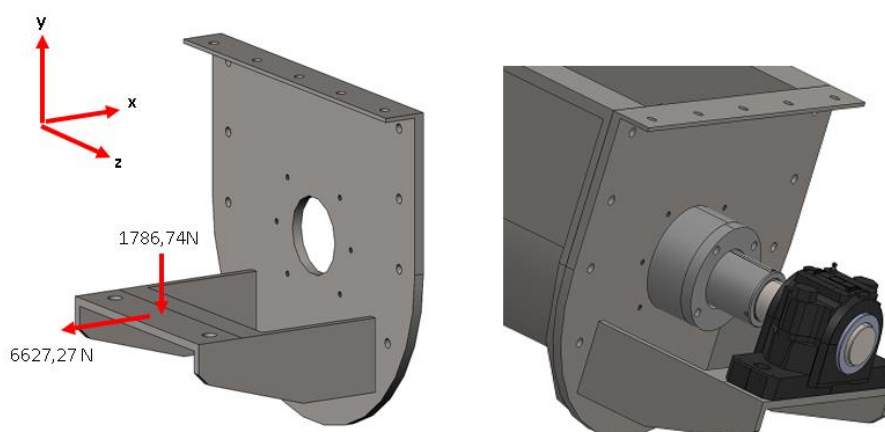


Imagen 90: Fuerzas que actúan sobre el soporte de la tapa inferior.

Se trata de un caso en el que se tiene cortante, flector y axil. En este tipo de casos el esfuerzo cortante se considera despreciable frente al flector. Por tanto se comprobará que:

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
σ_{max}	Tensión máxima en la pieza	Mpa	-
σ_{adm}	Tensión máxima admisible por el material	MPa	-

En primer lugar se procederá al cálculo de σ_{adm}

$$\sigma_{adm} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (28)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
f_y	Límite elástico AISI 304	Mpa	207
σ_{adm}	Tensión máxima admisible por el material	MPa	-
γ_M	Coefficiente de seguridad	-	1,05

De (28) se obtiene:

$$\sigma_{adm} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{207}{1,05} = 197,14 \text{ MPa}$$

A continuación se procederá al cálculo de σ_{max} empleando la ley de Navier:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_f}{I_{ZT}} \times y \quad (29)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
N	Esfuerzo axial al que está sometida la sección	N	6627,27
M_f	Momento flector al que está sometida la sección	Nm	-
I_{ZT}	Momento de inercia total eje z	m ⁴	-
A	Área de la sección	m ²	-
y	Distancia del centro de masas de la sección a su extremo	m	-

En primer lugar se procederá al cálculo del centro de masas de la pieza. Este dato se extraerá del software informático Solidworks:

$$X_{CM} = -41,85 \text{ mm} = -0,04185 \text{ m}$$

$$Y_{CM} = -11,66 \text{ mm} = -0,01166 \text{ m}$$

$$X_{CM} = 0 \text{ mm} = 0 \text{ m}$$

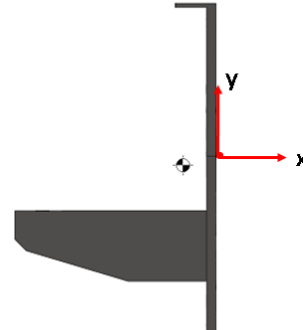


Imagen 91: Centro de gravedad de la sección según los ejes dibujados. Datos obtenidos con el software SOLIDWORKS.

Una vez obtenido el centro de masas, se calculará el momento de inercia I_z :

$$I_z = I_x + I_y$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 12 \times 90^3 = 729000 \text{ mm}^4$$

Para el momento de inercia “ I_y ” hay que aplicar STEINER, ya que el centro de masas en “ y ” de la sección no coincide con el de la pieza completa:

$$I_{YCDG} = \frac{1}{12}b^3h + Ady^2 = \frac{1}{12} \times 12^3 \times 90 + 12 \times 90 \times (133,5)^2 = 19260990 \text{ mm}^4$$

$$I_z = I_x + I_{YCDG} = 729000 + 19260990 = 19989990 \text{ mm}^4$$

$$I_{ZT} = 2 \times I_z = 2 \times 19989990 = 39979980 \text{ mm}^4$$

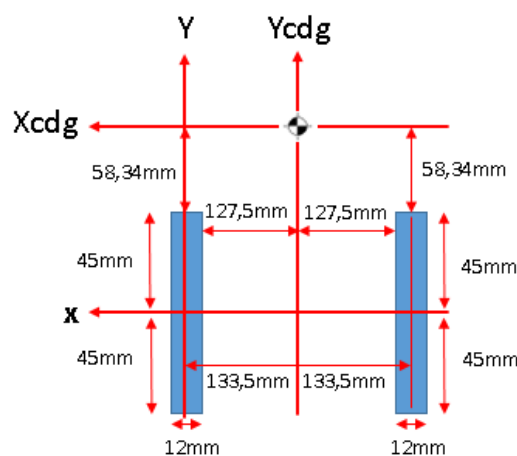


Imagen 92: Centro de masas total de la pieza vs centro de masas de la sección.

Cálculo del M_f :

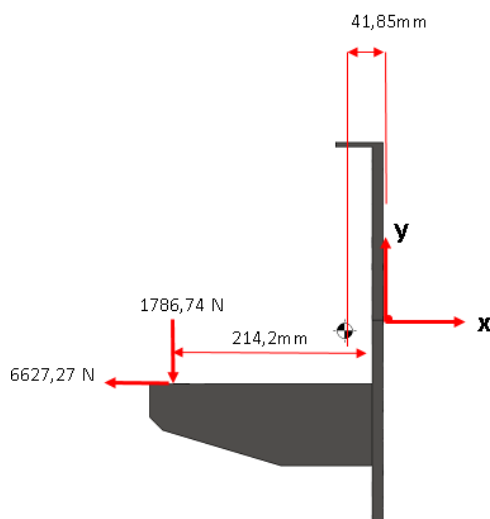


Imagen 93: Tapa inferior con el centro de gravedad y con las distancias a las que están aplicadas las fuerzas.

$$M_f = F \times d \quad (30)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
M_f	Momento flector al que está sometida la sección	Nm	-
F	Fuerza radial que actúa sobre el soporte	N	1786,74
d	Distancia desde el punto de aplicación de la pieza a la sección más desfavorable	m	0,2142

Por tanto de (30) se obtiene:

$$M_f = F \times d = 1786,74 \times 0,2142 = 382719,708 \text{ Nmm}$$

Con todos estos datos, y sustituyendo en la ecuación (29) se obtiene σ_{\max} :

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M_f}{I_{ZT}} \times y = \frac{6627,27}{12 \times 90 \times 2} + \frac{382719,708}{39979980} \times 45 = 3,5 \text{ MPa}$$

Como $\sigma_{\max} = 3,5 \text{ MPa} < \sigma_{\text{adm}} = 196,95 \text{ MPa}$ se puede concluir que la pieza aguanta los esfuerzos a los que está sometida.

También se ha calculado el soporte con el software informático SOLIDWORKS obteniéndose los siguientes resultados:

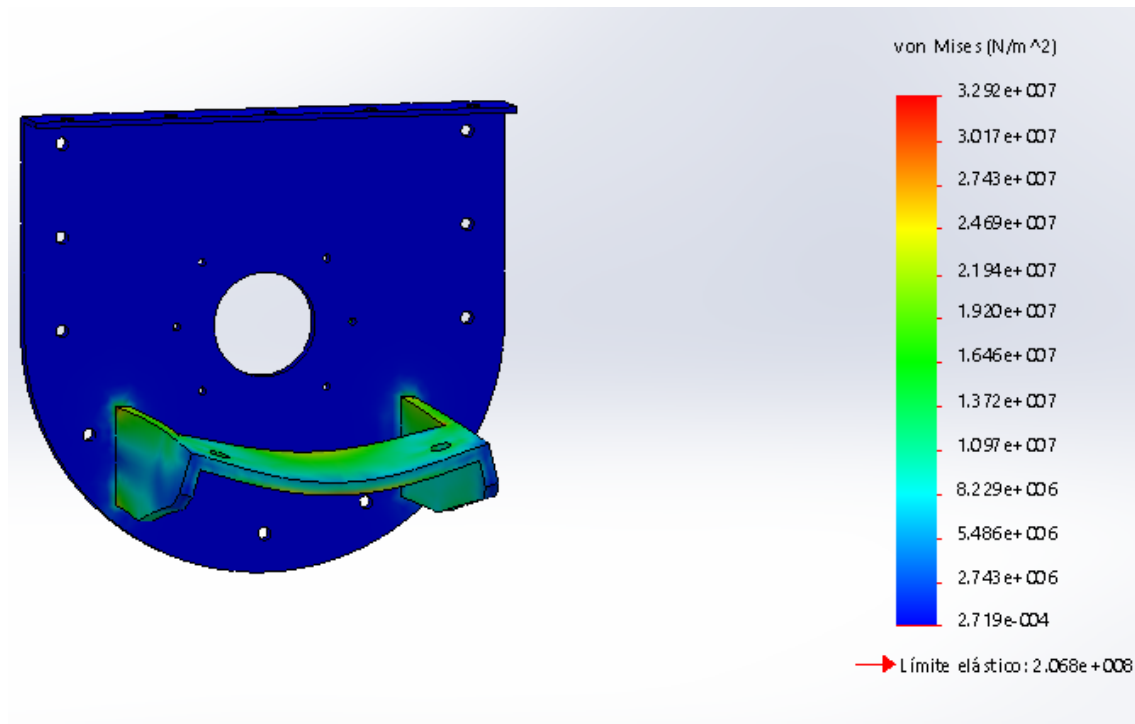


Imagen 94: Análisis de elementos finitos del soporte inferior ejecutado con el software SOLIDWORKS.

Como se puede observar en ningún caso se supera el límite elástico soportado por el material AISI 304 por lo que se puede concluir que el soporte será capaz de aguantar (sin romperse ni deformarse plásticamente) los esfuerzos a los que se someterá.

11. CÁLCULO DE LAS PATAS

11.1. Comprobación a pandeo

El cálculo de las patas se ha realizado de la siguiente forma:

Paso 1: En primer lugar se ha posicionado el centro de masas en el transportador y las reacciones en los apoyos calculadas en el punto 6 del presente anexo.

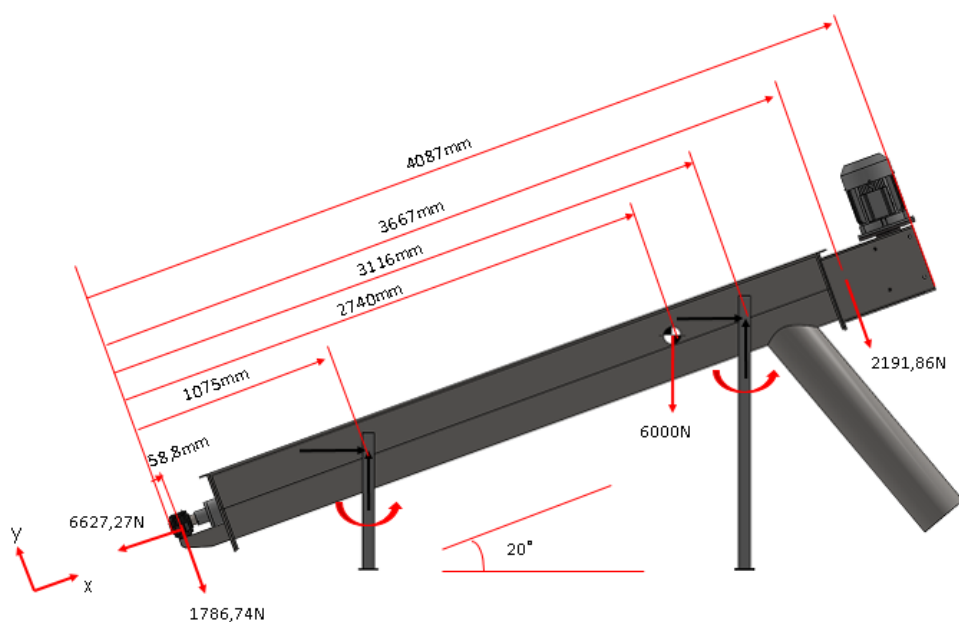


Imagen 95: Situación de las patas y de las cargas aplicadas.

Paso 2: Se han nombrado las reacciones en los apoyos de la pata.

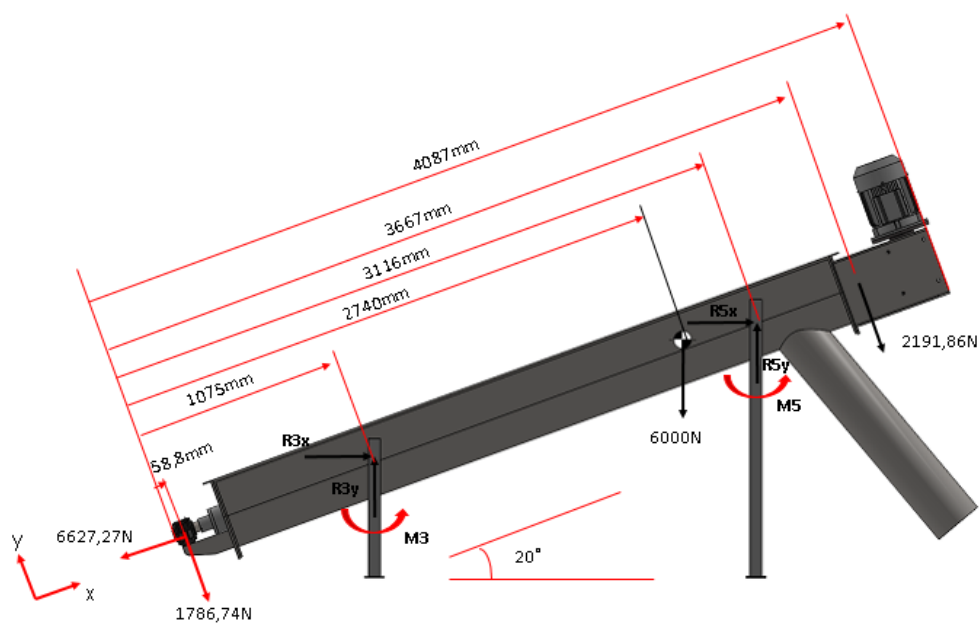


Imagen 96: Situación de las patas y reacciones en los apoyos.

Paso 3: Se han introducido los datos en el software informático de cálculo de estructuras SAP 2000 y se han extraído las reacciones en los apoyos.

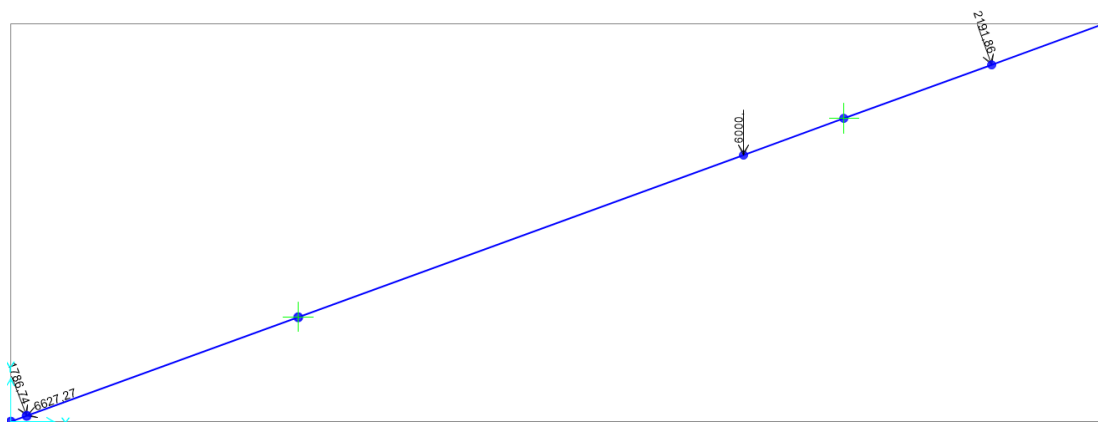


Imagen 97: Cargas introducidas en el software SAP 2000.

Paso 4: Tabla con las reacciones en los apoyos.

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 N	F2 N	F3 N	M1 N-m	M2 N-m	M3 N-m
	3	DEAD	LinStatic	5803,5	4537,72	1331,77	-226,84	623,24	-1289,15
	5	DEAD	LinStatic	-854,66	7242,18	1370,56	166,69	-457,96	-177,37

Tabla 36: Reacciones extraídas con el software SAP 2000.

Paso 5: Se han trasladado las reacciones en los apoyos como fuerzas que se ejercen en las patas.

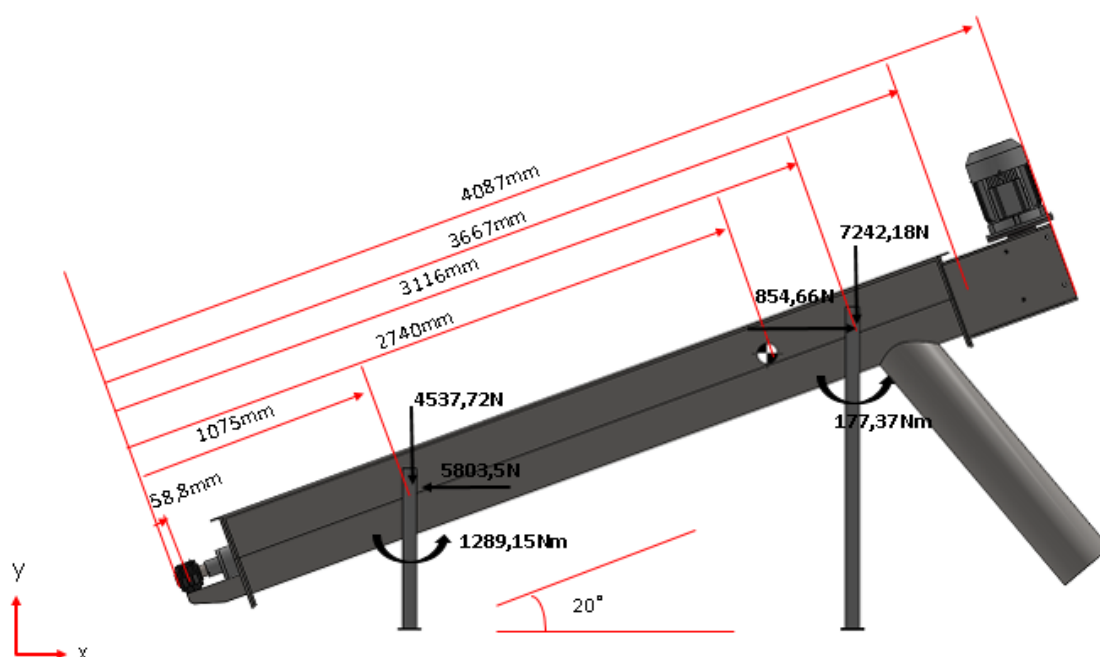


Imagen 98: Fuerzas a las que se ven sometidas las patas del transportador.

Paso 6: Se comprueba a pandeo solo la pata larga, ya que su longitud es mayor y la fuerza de compresión a la que está sometida también.

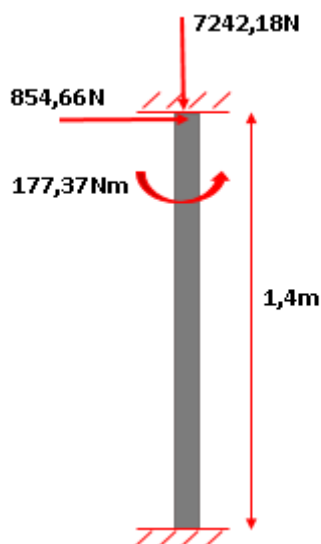


Imagen 99: Fuerzas que actúan sobre las patas largas del transportador.

1) Longitud de pandeo L_k :

$$L_k = \beta \times L \quad (31)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
L_k	Longitud de pandeo	m	-
β	Coefficiente (empotrado-empotrado)	-	0,5
L	Longitud de la pata	m	1,4

Entonces de (31):

$$L_k = \beta \times L = 0,5 \times 1,4 = 0,75 \text{ m}$$

2) Cálculo N crítica (N_{cr}):

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \times E \times I \quad (32)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
L_k	Longitud de pandeo	m	0,75
E	Módulo de elasticidad AISI 304	MPa	190000
I	Momento de inercia del área de la sección para flexión en el plano considerado (UPN80 eje débil)	m ⁴	19,4E-8
N_{cr}	Axil compresión crítico	N	-

Entonces:

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \times E \times I = \left(\frac{\pi}{0,75} \right)^2 \times 1,9E11 \times 19,4E-8 = 646744,21 \text{ N}$$

3) Cálculo esbeltez reducida:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \quad (33)$$

Donde

	Descripción	Unidades	Valor
$\bar{\lambda}$	Esbeltez reducida	-	-
A	Área seccional (UPN 80)	m ²	11E-4
f_y	Límite elástico AISI 304	MPa	207
N_{cr}	Axil compresión crítico	N	646744,21

Entonces de (33):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11E-4 \times 207E6}{646744,21}} = 0,59 < 2$$

4) Cálculo del coeficiente ϕ

$$\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + (\bar{\lambda})^2] \quad (34)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
$\bar{\lambda}$	Esbeltez reducida	-	0,59
α	Coeficiente de imperfección elástica (curva c)	-	0,49

Entonces de (34):

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,59 - 0,2) + (0,59)^2] = 0,7696$$

5) Cálculo del coeficiente de reducción por pandeo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \quad (35)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
$\bar{\lambda}$	Esbeltez reducida	-	0,59
χ	Coeficiente de reducción por pandeo	-	-
ϕ	Coeficiente	-	0,7696

Entonces de (35):

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,7696 + \sqrt{0,7696^2 - 0,59^2}} = 0,7913$$

6) Cálculo de $N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \chi \times A \times f_{yd} \quad (36)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
f_{yd}	Resistencia de cálculo del AISI 304 = $f_y/1,05$	MPa	197,14
χ	Coeficiente de reducción por pandeo	-	0,7913
A	Área seccional (UPN 80)	m ²	11E-4
$N_{b,Rd}$	Resistencia última de la barra a pandeo	N	-

Entonces de (36):

$$N_{b,Rd} = \chi \times A \times f_{yd} = 0,7913 \times 11E-4 \times 197,14 E6 = 171596,57 N$$

7) Comprobación:

$$N_{e,d} \leq N_{b,Rd}$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
$N_{e,d}$	Axil de compresión en la barra	N	7242,18
$N_{b,Rd}$	Resistencia última de la barra a pandeo	N	171596,57

Entonces:

$$\frac{7242,18}{2} \leq 171596,57$$

NOTA: Como hay dos patas iguales, el $N_{e,d}$ se divide entre 2 ya que se reparte entre las dos patas.

CUMPLE SOBRADAMENTE A PANDEO

11.2. Comprobación a flexión

11.2.1. Pata corta

Paso1: Se sitúan las fuerzas que actúan sobre la pata.

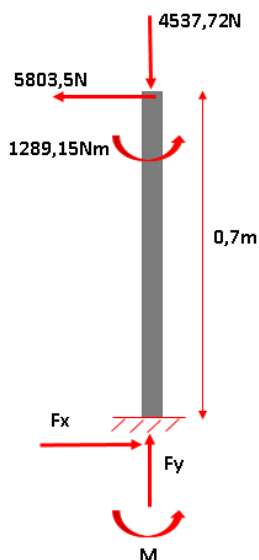


Imagen 100: Fuerzas que actúan sobre la pata corta del transportador.

Paso 2: Se han introducido los datos en el software informático de cálculo de estructuras SAP 2000 y se han extraído las reacciones en los apoyos.

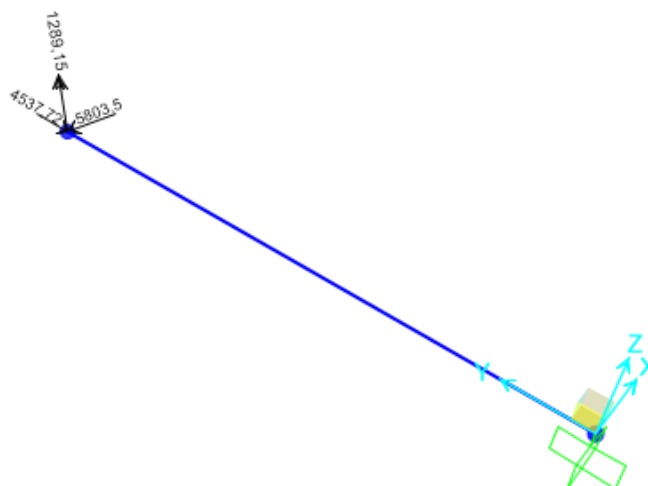


Imagen 101: Fuerzas introducidas en el software SAP 2000 para el cálculo de reacciones.

Paso 3: Reacciones en los apoyos

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 N	F2 N	F3 N	M1 N-m	M2 N-m	M3 N-m
►	1	DEAD	LinStatic	5803,5	4537,72	229,78	80,42	0	-5351,6

Tabla 37: Reacciones obtenidas con el software SAP 2000.

Paso 4: Esquema de las fuerzas que actúan sobre la pata y las reacciones en el apoyo.

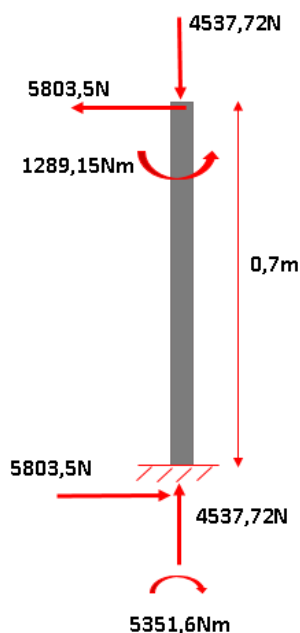


Imagen 102: Pata corta con todas las fuerzas que actúan sobre ella.

Paso 5: Se aplica la ecuación de NAVIER y se comprueba que no se supera la tensión máxima admisible. Tanto el axil como el flector se dividen entre 2 porque hay 2 patas.

$$\sigma = \frac{N/2}{A} + \frac{M_{fz}/2}{I_z} y \quad (38)$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
N	Axil de compresión al que está sometida la pata	N	4537,72
M_{fz}	Momento flector máximo	Nm	5351,6
A	Área seccional (UPN 80)	m ²	11E-4
I_z	Momento de inercia en el eje fuerte del perfil	mm ⁴	106E-8
y	Distancia al extremo del perfil (h/2)	m	0,040

Entonces:

$$\sigma = \frac{N/2}{A} + \frac{M_{fz}/2}{I_z} y = \frac{4537,72/2}{11E-4} + \frac{5351,6/2}{106E-8} 0,040 = 103036184,91 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 103,04 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 197,14$$

CUMPLE A FLEXIÓN

11.2.2. Pata larga

Paso 1: Se sitúan las fuerzas que actúan sobre la pata.

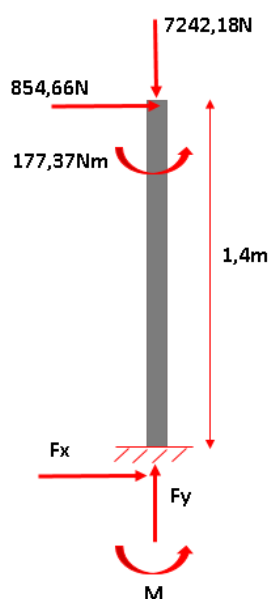


Imagen 103: Fuerzas que actúan sobre la pata larga del transportador.

Paso 2: Se han introducido los datos en el software informático de cálculo de estructuras SAP 2000 y se han extraído las reacciones en los apoyos.

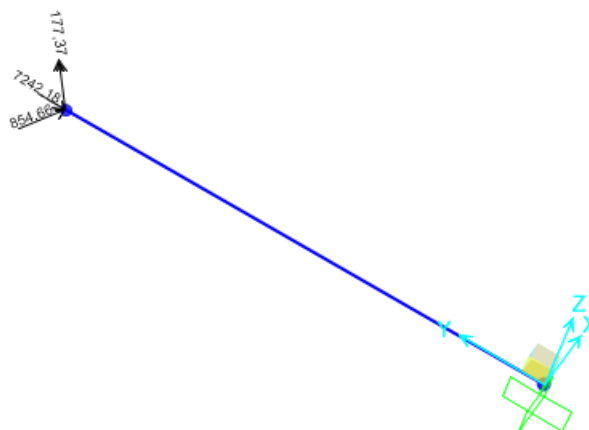


Imagen104: Fuerzas introducidas en el software SAP 2000 para el cálculo de reacciones.

Paso 3: Reacciones en los apoyos

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 N	F2 N	F3 N	M1 N-m	M2 N-m	M3 N-m
►	1	DEAD	LinStatic	-854,66	7242,18	459,55	321,69	0	1019,15

Tabla 38: Reacciones obtenidas con el software SAP 2000.

Paso 4: Esquema de las fuerzas que actúan sobre la pata y las reacciones en el apoyo.

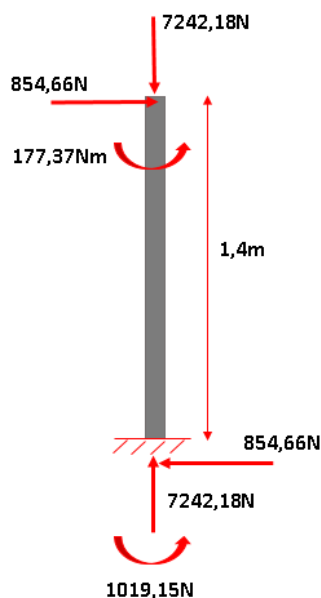


Imagen 105: Pata larga con todas las fuerzas que actúan sobre ella.

Paso 5: Se aplica NAVIER y se comprueba que no se supera la tensión máxima admisible. Tanto el axil como el flector se dividen entre 2 porque hay 2 patas.

$$\sigma = \frac{N/2}{A} + \frac{M_{fz}/2}{I_z} y$$

Donde:

	Descripción	Unidades	Valor
N	Axil de compresión al que está sometida la pata	N	7242,18
M_{fz}	Momento flector máximo	Nm	1019,15
A	Área seccional (UPN 80)	m ²	11E-4
I_z	Momento de inercia en el eje fuerte del perfil	mm ⁴	106E-8
y	Distancia al extremo del perfil (h/2)	m	0,040

Entonces:

$$\sigma = \frac{N/2}{A} + \frac{M_{fz}/2}{I_z} y = \frac{7242,18/2}{11E-4} + \frac{1019,15/2}{106E-8} 0,040 = 22521145,283 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 22,52 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 197,14$$

CUMPLE A FLEXIÓN

ANEXOIII: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	177
2. COMPONENTES REDISEÑADOS O MODIFICADOS	178
2.1. Acoplamiento	178
2.1.1. Requisitos de diseño del acoplamiento.	178
2.1.2. Plan de procesos	179
2.2. Punta inferior del eje.....	182
2.2.1. Requisitos de diseño de la punta inferior del eje.....	182
2.2.2. Plan de procesos	183
2.3. Eje de la reductora.	185
2.3.1. Requisitos de diseño del eje de la reductora.	185
2.3.2. Plan de procesos	186
2.4. Punta superior del eje	189
2.4.1. Requisitos de diseño de la punta superior del eje.	189
2.4.2. Plan de procesos	190
2.5. Prensaestopas	193
2.5.1. Requisitos de diseño	193
2.5.2. Plan de procesos de la cajera	194
2.5.3. Plan de procesos del prensa.....	196
2.6. Casquillo para los retenes	199
2.6.1. Introducción	199
2.6.2. Requisitos de diseño	199
2.7. Camisas.....	201
2.7.1. Introducción	201
2.7.2. Requisitos de diseño	201
2.8. Tapas	203
2.8.1. Introducción	203
2.8.2. Requisitos de diseño de la tapa inferior	203
2.8.3. Requisitos de diseño de la tapa superior	204
2.9. Soporte reductora	205
2.9.1. Introducción	205
2.9.2. Requisitos de diseño	205
3. INSPECCIÓN DE CALIDAD	206

1. INTRODUCCIÓN

En este anexo se pretende explicar las bases de diseño de las piezas más importantes del equipo. Adicionalmente, se explicará el proceso de fabricación de las piezas que se van a realizar en el taller rotativo de UBE. En concreto se van a explicar las bases de diseño de los siguientes componentes modificados de la máquina:

- Acoplamiento.
- Punta inferior del eje.
- Eje de la reductora.
- Punta superior del eje.
- Prensaestopas.
- Casquillo para los retenes.
- Camisas.
- Tapas.
- Soporte de la reductora.

En primer lugar se introducirán los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para el diseño del componente.

Posteriormente se realizará el plan de procesos de las piezas que se van a fabricar en el torno o en la fresadora del taller de UBE. Para ello se introducirá el tocho de partida y se nombrarán las diferentes operaciones para la obtención del componente final.

Para hacer el plan de procesos, se mostrará una tabla donde se mostrarán los siguientes apartados:

- **Fase:** Engloba las operaciones que se realizan en la misma máquina. Una misma fase puede contener numerosas subfases y operaciones.
- **Subfase:** Engloba las operaciones que se realizan en una máquina con el mismo útil de sujeción de la pieza. Una misma subfase puede contener varias operaciones.
- **Operación:** Se trata de las diferentes operaciones de mecanizado para obtener la geometría final de la pieza.
- **Nombre de la operación:** Nombre técnico de la operación (cilindrado, refrentado, taladrado...)
- **Amarre:** Útil que se va a utilizar para la sujeción de la pieza en la máquina para que esta pueda ser mecanizada.
- **Descripción:** Breve descripción de la operación que se va a realizar.

2. COMPONENTES REDISEÑADOS O MODIFICADOS

2.1. Acoplamiento

Como se ha expuesto anteriormente en la memoria del presente proyecto, una de las piezas a sustituir del transportador es el acoplamiento, ya que se va a instalar uno de acero inoxidable AISI 316L y de más diámetro. Con esto se obtendrá un componente más resistente a la corrosión y una mejor absorción de las desalineaciones provocadas por la flexión del eje del transportador.

Cuando se adquiere un acoplamiento en el mercado, estos no vienen mecanizados de fábrica ya que cada máquina tiene un diámetro del eje, un tipo de chaveta, no se dispone del mismo espacio axial en todas las máquinas, etc. Es por esta razón por la que es necesario mecanizarlo de forma que se adapte al eje donde irá instalado.

2.1.1. Requisitos de diseño del acoplamiento.

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para el diseño del acoplamiento son los siguientes:

- Ocupar el mínimo espacio axial posible.
- Cantos redondeados para suavizar la concentración de tensiones.
- Preparado para instalar dos chavetas de anchura $b=14\text{mm}$.
- Agujero interior mecanizado con tolerancia H7 para su correcta disposición en el eje.
- Mecanizado de roscas para fijar el acoplamiento axialmente mediante el uso de prisioneros.

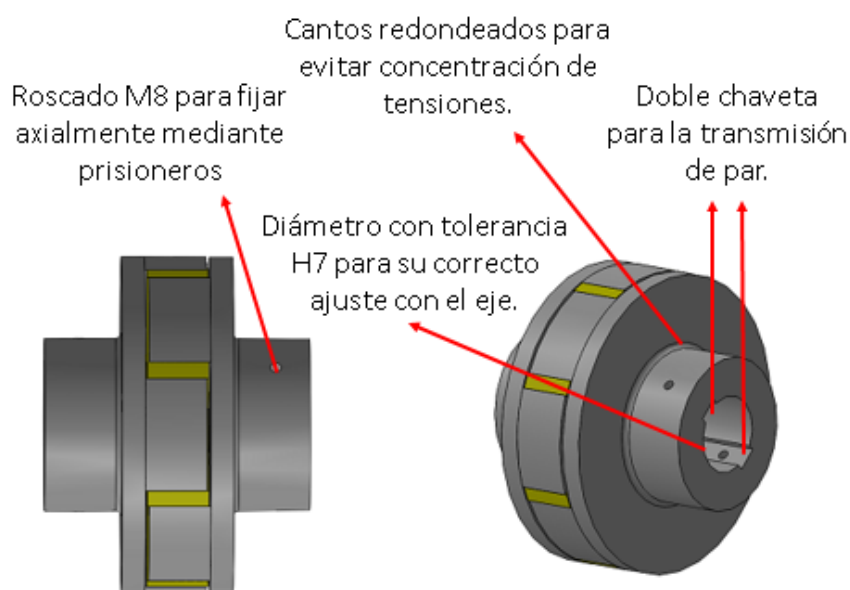
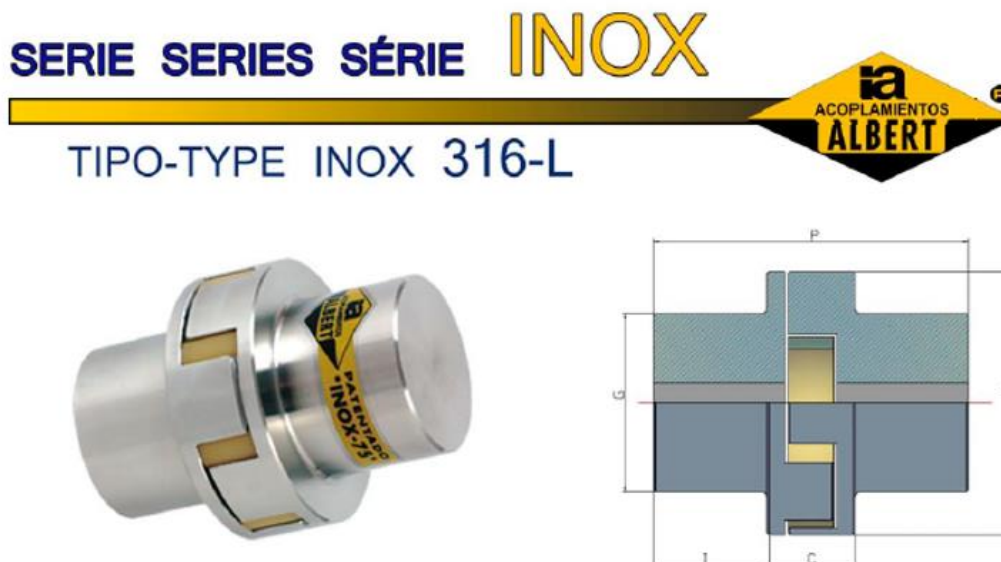


Imagen 106: Detalles del acoplamiento.

2.1.2. Plan de procesos

A continuación se muestra una tabla de las medidas de los acoplamientos cuando se adquieren en el mercado. Para la instalación que está siendo objeto de mejora, se ha seleccionado un acoplamiento de diámetro 150mm, por lo que se han remarcado en la tabla las medidas de este acoplamiento:



TIPO TYPE	ESTRELLA SPIDER BAGUE	Ø Int.Estrella Ø Spider inside Ø Intérieur Bague	PAR TORQUE Kgm	MÁX R.P.M.	HP / RPM	A	P	C	G	I	Ejes / Bores / Alésages		Peso Weight Poids Kgs.
											Min.	Max.	
INOX-50	50X10	20	VER INFORMACION EN TABLA DE ESTRELLAS SEE INFORMATION IN TABLE OF SPIDERS BELOW VOIR LES INFORMATIONS CONTENUES DANS LE TABLEAU DES BAGUES BAS	10.000	0,0017	50	62	18	32	22	0	20	0,5
INOX-60	60X14	27		8.500	0,0032	60	80	24	40	28	0	24	0,9
INOX-75	75X16	31		7.000	0,007	75	100	27	50	36,5	0	34	1,5
INOX-90	90X20	37		6.000	0,016	90	124	32	65	46	0	45	3,3
INOX-105	105X20	49		5.500	0,027	105	142	36	72	53	0	48	4,9
INOX-120	120X20	47		4.500	0,041	120	158	38	80	60	0	55	7
INOX-135	135X25	55		4.000	0,063	135	185	45	90	70	0	65	10,5
INOX-150	150X28	63	VER INFORMACION EN TABLA DE ESTRELLAS SEE INFORMATION IN TABLE OF SPIDERS BELOW VOIR LES INFORMATIONS CONTENUES DANS LE TABLEAU DES BAGUES BAS	3.500	0,088	150	212	52	100	80	0	70	15
INOX-175	175X30	67		3.000	0,13	175	238	58	115	90	0	85	23

Tabla 39: Tabla extraída del catálogo de acoplamientos flexibles de la marca ALBERT donde se indican las dimensiones del acoplamiento.

El acoplamiento consta de dos partes iguales que se mecanizarán de forma idéntica. En la imagen se puede observar la geometría final de una de las partes del acoplamiento así como la numeración de algunas superficies para facilitar la comprensión de los diferentes procesos de mecanizado.

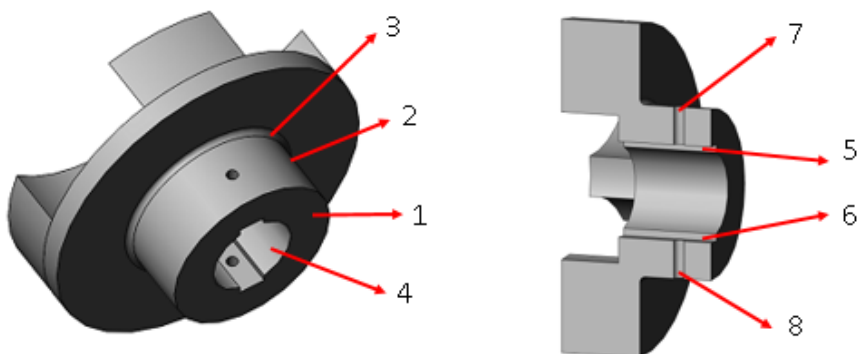


Imagen 107: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Setup torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Tronzado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un tronzado en el que se eliminarán 35mm de la superficie que se va a mecanizar del acoplamiento.
1	1	2	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado para obtener la superficie 1 del acoplamiento. Se realizarán 2 pasadas de 2mm cada una y dos pasadas finales de 0,5mm.
1	1	3	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado de 40mm de longitud desde la superficie 1 para obtener la superficie 2. Se realizarán 3 pasadas de 6mm y 2 pasadas de 1mm.
1	1	4	Marcado de centro	Plato de tres garras autocentrante	Se marcará el centro de la superficie 1 con la broca de puntear para proceder posteriormente a su taladrado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	1	5	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante	Taladrado con broca de 15 mm de diámetro con el objetivo de obtener la superficie 4.
1	1	6	Retaladrado	Plato de tres garras autocentrante	Retaladrado con broca de 45 mm de diámetro con el objetivo de obtener la superficie 4.
1	1	7	Mandrinado	Plato de tres garras autocentrante	Mandrinado final para obtener la superficie 4 con la tolerancia H7 indicada en el plano.
2	0	0	Set up mortajadora		El operario preparará la mortajadora para su utilización.
2	1	1	Mortajado	Plato de tres garras autocentrante	Mortajado para la obtención de la ranura 5.
2	1	2	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante	Giro de 180° de la pieza.
2	1	3	Mortajado	Plato de tres garras autocentrante	Mortajado para la obtención de la ranura 6.
3	0	0	Set up fresa		El operario preparará la fresadora para su utilización.
3	1	1	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante	Taladrado de diámetro 6,75mm para obtener el agujero 7.
3	1	2	Roscado	Plato de tres garras autocentrante	Roscado de métrica 8 para obtener la rosca 7.
3	1	3	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante	Giro de 180° de la pieza.
3	1	4	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante	Taladrado de diámetro 6,75mm para obtener el agujero 8.
3	1	5	Roscado	Plato de tres garras autocentrante	Roscado de métrica 8 para obtener la rosca 8.

Tabla 40: Plan de procesos del acoplamiento.

2.2. Punta inferior del eje.

La modificación de esta pieza es imprescindible ya que al sustituir los soportes de los rodamientos por unos de pie se necesita mayor longitud en el eje. Las nuevas puntas se fabricarán de acero AISI 2205 frente al AISI 316 de los anteriores.

2.2.1. Requisitos de diseño de la punta inferior del eje.

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para este componente son los siguientes:

- Mínimos cambios de sección posibles para evitar la concentración de tensiones.
- Redondeo de los cantos interiores para suavizar la concentración de tensiones.
- Mecanizado de los chaflanes en la zona donde va a ir alojada la camisa para evitar que se produzcan daños en las juntas toricas de la parte interior de la camisa.
- Diámetro con tolerancia f7 y una ovalización de la superficie menor a IT8 en la zona donde va a ir alojada la camisa.
- Diámetro con tolerancia h9 y cilindridad IT5/2 según ISO 1101:2004 en la zona del eje donde van montados los rodamientos.

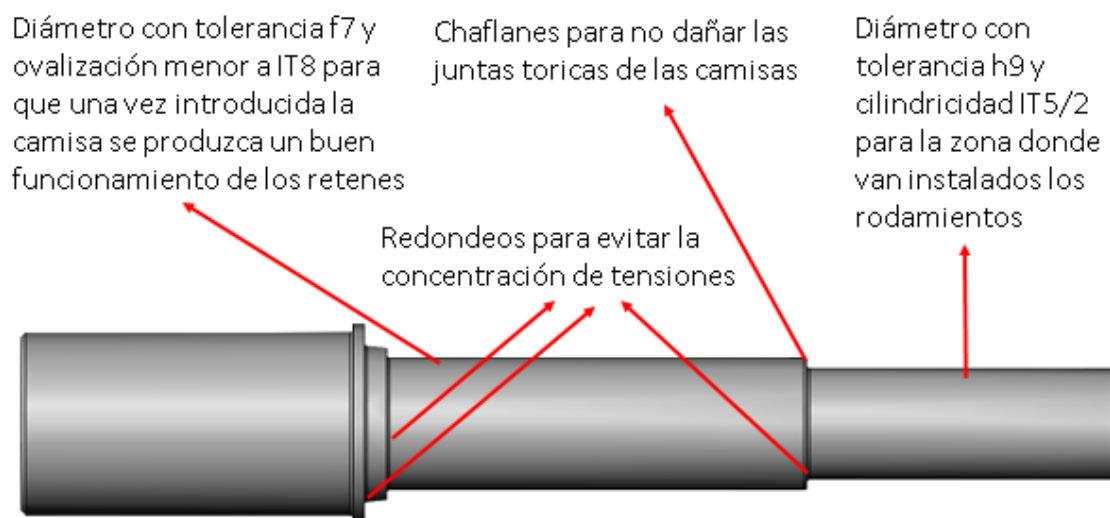


Imagen 108: Detalles de la punta del eje.

2.2.2. Plan de procesos

Para fabricar la punta del eje se parte de una barra maciza de 90mm de diámetro exterior y 500 mm de longitud.

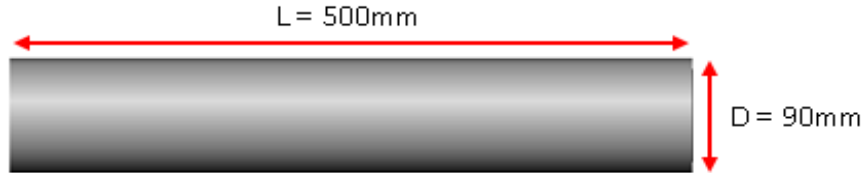


Imagen 109: Dimensiones del tocho inicial.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar la geometría final de la punta con las superficies numeradas que se van a mecanizar con el objetivo de que sea más fácil entender el plan de procesos:

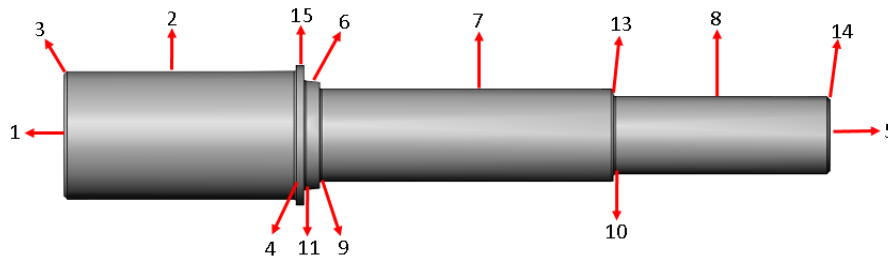


Imagen 110: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Setup torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un refrentado para obtener la superficie 1 de la pieza. Se realizarán dos pasadas de 1mm y otra pasada de 0,5mm.
1	1	2	Punteado	Plato de tres garras autocentrante	Se punteará la pieza con la broca de puntear para su posterior montaje punto-contrapunto.
1	2	3	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante – punto.	Se realizará un cilindrado para obtener la superficie 2 y 4. El cilindrado tendrá una longitud de 150mm medidos desde la superficie 1. Se realizarán dos pasadas de 5mm.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	2	4	Copiado	Plato de tres garras autocentrante – punto.	Se realizará el chaflán de la superficie 3.
1	3	5	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará un cambio de posición en la pieza sujetándola por el otro lado para mecanizar el resto de las superficies.
1	3	6	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado para obtener la superficie 5. Se realizará dos pasadas de 1mm y otra pasada de 0,5mm. Con esto obtenemos la longitud final de la pieza.
1	3	7	Punteado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un punteado con la broca de puntear en el centro de la superficie 5 para posteriormente amarrar la pieza con el sistema punto – contrapunto.
1	4	8	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante – punto.	Cilindrado de una longitud de 340mm desde la superficie 5 para obtener la superficie 6. Se realizará cuatro pasadas de 4mm y una pasada de 2,5mm.
1	4	9	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante – punto.	Cilindrado de una longitud de 330mm desde la superficie 5 para obtener la superficie 7. Se realizará tres pasadas de 4mm y una de 4,5mm.
1	4	10	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante – punto.	Cilindrado de una longitud de 140mm desde la superficie 5 para obtener la superficie 8. Se realizará una pasada de 0,5mm.
1	5	11	Cilindrado	Punto – contrapunto.	Terminar todas las superficies entre puntos para obtener las superficies 2, 15, 6, 7 y 8 dejando sus diámetros con sus correspondientes tolerancias.
1	5	12	Copiado	Punto – contrapunto.	Se realizarán los chaflanes 13 y 14.

Tabla 41: Plan de procesos de la punta del eje del lado bajo del transportador.

2.3. Eje de la reductora.

Otro de los componentes que se va a modificar del equipo es el eje de salida de la reductora. El único objetivo por el cual se va a fabricar un eje nuevo es para cambiar el material. Actualmente el material del eje es de acero inoxidable AISI 316 y se va a sustituir por un acero inoxidable dúplex AISI 2205. Para más información de la razón por la cual se ha sustituido el material se puede consultar el anexo del presente proyecto “justificación de selección de materiales”.

2.3.1. Requisitos de diseño del eje de la reductora.

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para este componente son los siguientes:

- Mínimos cambios de sección posibles para evitar la concentración de tensiones.
- Redondeo de los cantos interiores para suavizar la concentración de tensiones.
- La zona donde del eje que va a ir en el interior de la reductora dispondrá por recomendación del fabricante de un diámetro 45 con tolerancia f7.
- La zona del eje donde va instalado el acoplamiento dispondrá de un diámetro de 50mm con tolerancia h7.
- Chaflanes en los cantos para facilitar la entrada del eje en la reductora y la entrada del acoplamiento en el eje.
- Salto de sección en el eje para instalar un disco en el lado contrario y fijarlo así axialmente.

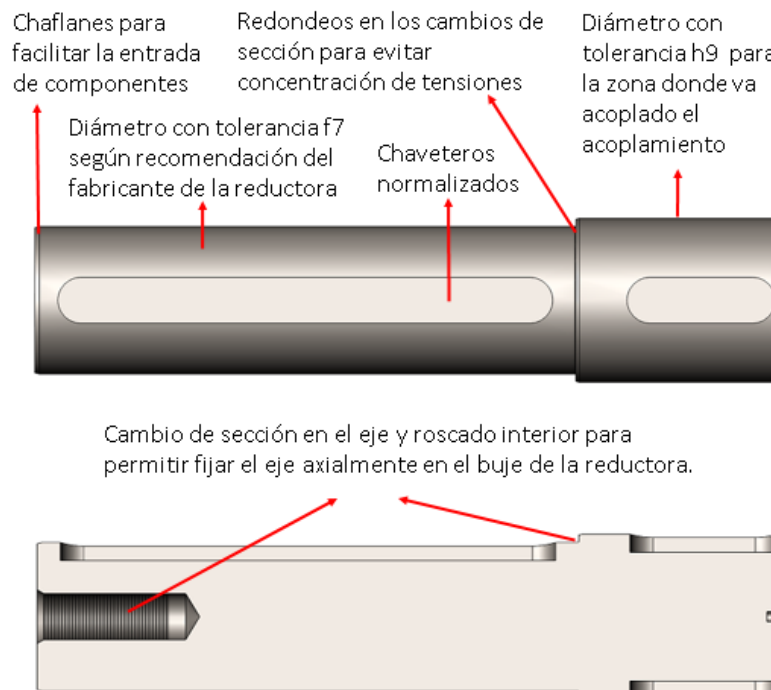


Imagen 111: Detalles del eje de la reductora.

2.3.2. Plan de procesos

Para fabricar el eje de la reductora, se parte de una barra maciza de 55mm de diámetro exterior y 235 mm de longitud.



Imagen 112: Dimensiones del tocho inicial.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar la geometría final del eje de la reductora con las superficies numeradas que se van a mecanizar con el objetivo de que sea más fácil entender el plan de procesos:

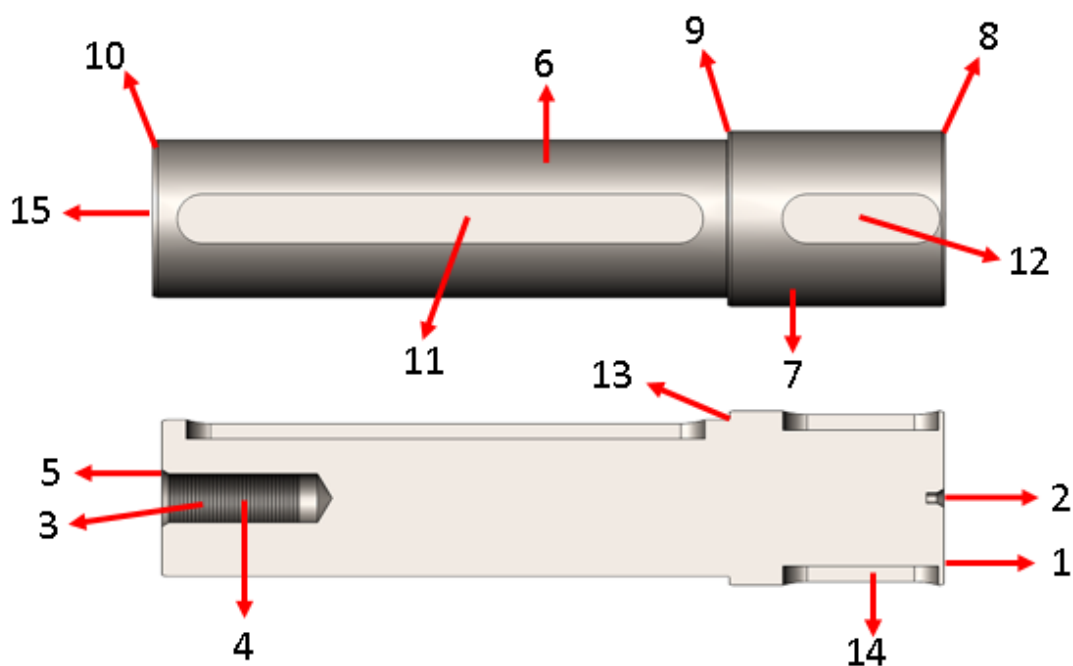


Imagen 113: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Setup torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará un refrentado para obtener la superficie 1 de la pieza. Se realizarán dos pasadas de 2mm y una pasada de 1mm.
1	1	2	Punteado	Plato de tres garras autocentrante.	Se punteará la pieza con la broca de puntear ya que posteriormente se amarrará con el sistema punto-contrapunto para que las superficies sean concéntricas.
1	1	3	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará un cambio de posición en la pieza sujetándola por el otro lado para mecanizar el resto de las superficies.
1	1	4	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará un refrentado para obtener la superficie 2 de la pieza. Se realizarán dos pasadas de 1,5mm y dos pasadas de 0,5mm con lo que se obtendrá la longitud final de la pieza.
1	1	5	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará un taladro de diámetro 14mm y profundidad 45mm.
1	1	6	Copiado	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará la conicidad a 30º para preparar la pieza para el posterior amarre punto-contrapunto.
1	1	7	Roscado	Plato de tres garras autocentrante.	Se realizará el roscado métrica 16 a una profundidad de 40mm.
1	2	8	Reorientación	Punto – contrapunto.	Se dispondrá la pieza en el torno con un amarre punto contrapunto en el que podremos realizar el resto de operaciones.
1	2	9	Cilindrado	Punto – contrapunto.	Se realizará un cilindrado de toda la pieza con el objetivo de obtener la superficie 7. Se realizarán cuatro pasadas de 1mm, una pasada de 0,5mm y una última pasada para dejar la medida indicada en el plano de 50mm con tolerancia h7.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	2	10	Cilindrado	Punto – contrapunto.	Se realizará un cilindrado de 164mm desde la superficie 15 con el objetivo de obtener la superficie 6. Se realizarán cuatro pasadas de 1mm, y una última pasada para dejar la medida indicada en el plano de 45mm con tolerancia f7.
1	2	11	Copiado	Punto – contrapunto.	Se realizarán los chaflanes 8, 9 y 10.
2	0	0	Set up fresa		El operario preparará la fresadora para su utilización.
2	1	1	Ranurado de chavetero	Plato divisor – punto.	Se realizarán 3 pasadas con la fresa de 14mm para la realizar la chaveta 12.
2	1	2	Reorientación	Plato divisor – punto.	Se girará la pieza 180° para mecanizar el otro chavetero.
2	1	3	Ranurado de chavetero	Plato divisor – punto.	Se realizará 3 pasadas con la fresa de 14mm para la realizar la chaveta 14.

Tabla 42: Plan de procesos del eje de la reductora.

2.4. Punta superior del eje

La modificación de esta pieza es imprescindible ya que al sustituir los soportes de los rodamientos por unos de pie se necesita mayor longitud en el eje. Las nuevas puntas se fabricarán de acero dúplex 2205 frente al AISI 316 de las puntas anteriores.

2.4.1. Requisitos de diseño de la punta superior del eje.

Como todo componente de una máquina, a la hora de diseñarlo es recomendable seguir unos requisitos de diseño para que la pieza cumpla con su función lo mejor posible. Para este componente se han considerado los siguientes requisitos de diseño:

- Mínimos cambios de sección posibles para evitar la concentración de tensiones.
- Redondeo de los cantos interiores para suavizar la concentración de tensiones.
- Mecanizado de chaflanes en la zona donde va a ir instalada la camisa para evitar que se produzcan daños en las juntas toricas de la parte interior de la camisa.
- La zona donde irá instalada la camisa dispondrá un diámetro con tolerancia f7 y una tolerancia de ovalización de la superficie menor a IT8. Todo esto definido por el catálogo del fabricante de juntas toricas EPIDOR.
- La zona donde irán instalados los rodamientos respetarán los requisitos del fabricante que consisten en un diámetro con tolerancia h9 y una cilindridad IT5/2 según ISO 1101:2004. Todo esto definido por el fabricante de rodamientos SKF.

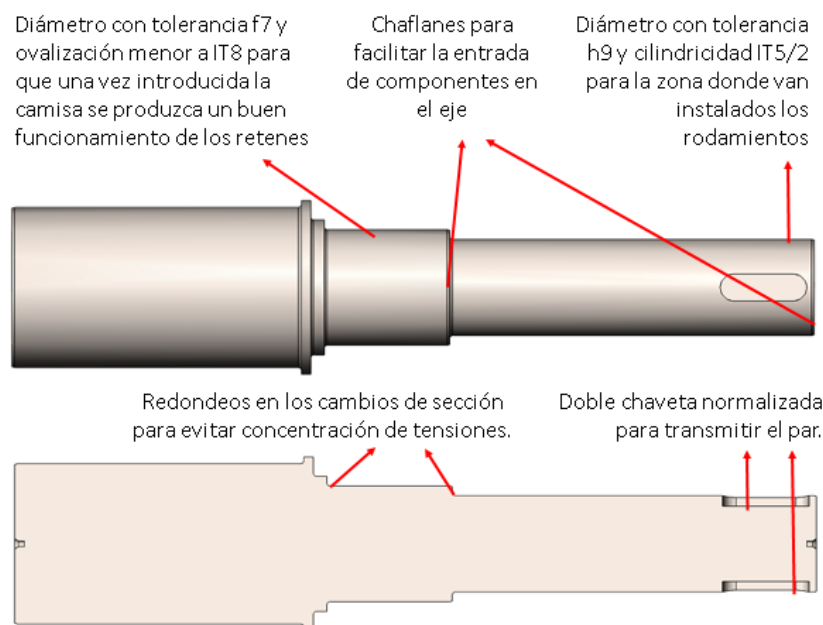


Imagen 114: Detalles de la punta del eje (lado alto del transportador).

2.4.2. Plan de procesos

Para fabricar esta punta se parte de una barra maciza de 90mm de diámetro exterior y 500 mm de longitud.

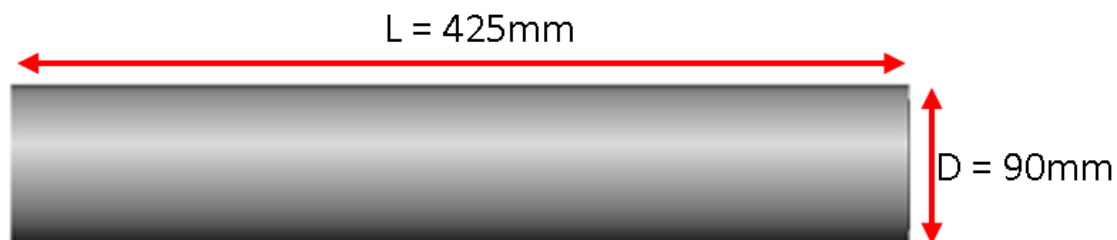


Imagen 115: Dimensiones del tocho inicial.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar la geometría final de la punta con las superficies numeradas que se van a mecanizar con el objetivo de que sea más fácil entender el plan de procesos:

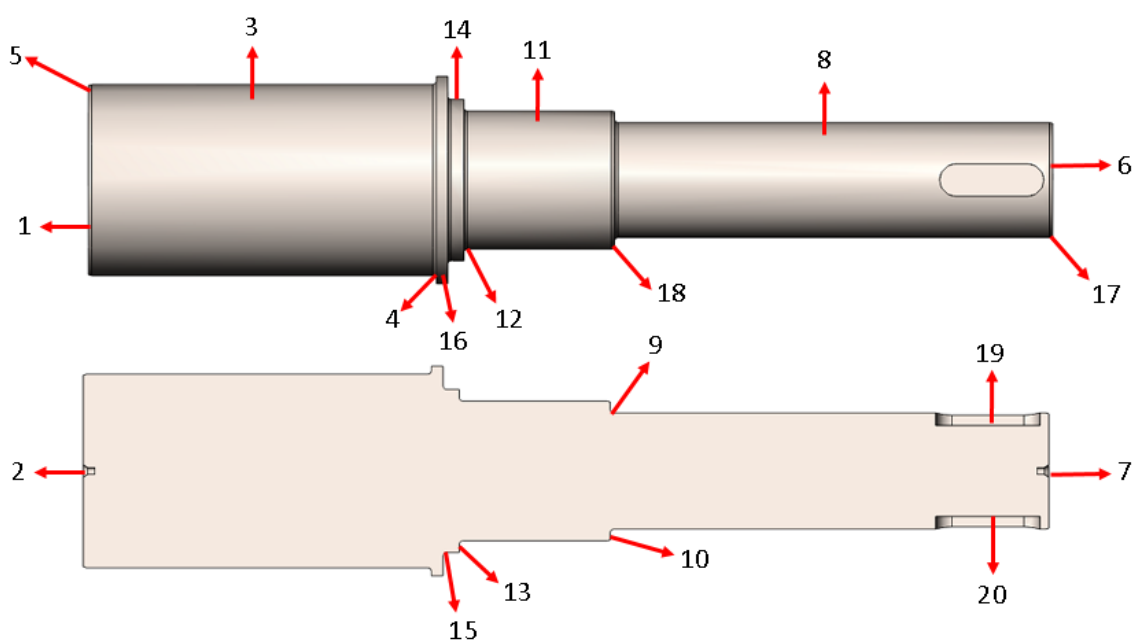


Imagen 116: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Setup torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un refrentado para obtener la superficie 1 de la pieza. Se realizarán dos pasadas de 2mm y dos pasadas de 0,5mm.
1	1	2	Punteado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará punteado con la broca de puntear para posteriormente poder amarrar la pieza con el contrapunto del torno.
1	2	3	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante-contrapunto	Se realizará un cilindrado de 150mm de longitud desde la superficie 1 para la obtención de la superficie 3. Para ello se realizarán dos pasadas de 5mm.
1	2	4	Copiado	Plato de tres garras autocentrante-contrapunto	Se realizará el chaflán para obtener la superficie 5.
1	3	5	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante	Se le dará la vuelta a la pieza para realizar las operaciones del lado opuesto. Se amarrará la pieza por el otro lado con el plato de 3 garras autocentrante.
1	3	6	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un refrentado para obtener la superficie 6 de la pieza. Se realizará tres pasadas de 1mm y dos pasadas de 0,5mm. Con esta operación se obtendrá la longitud final de la pieza.
1	3	7	Punteado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará el punteado 7 con la broca de puntear para posteriormente poder amarrar la pieza en el torno con el amarre punto-contrapunto.
1	4	8	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante - contrapunto	Cilindrado de una longitud de 261mm desde la superficie 6 para obtener la superficie 14. Se realizarán cuatro pasadas de 4mm y una de 2,5mm.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	4	9	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante - contrapunto.	Cilindrado de 254 mm de longitud desde la superficie 7 para la obtención de la superficie 11. Se realizará tres pasadas de 4mm y una de 4,5mm.
1	4	10	Cilindrado	Plato de tres garras autocentrante - contrapunto.	Cilindrado de 189mm desde la superficie 6 para obtener la superficie 8 de la pieza. Se realizará una pasada de 0,5mm.
1	5	11	Cilindrado	Punto – contrapunto.	Cilindrado para obtener los acabados de las superficies 8, 11, 14 y 16 de la pieza.
1	5	12	Copiado	Punto – contrapunto.	Se realizarán los chaflanes 17 y 18 de la pieza.
2	0	13	Set up fresa		El operario preparará la fresadora para su utilización.
2	1	14	Ranurado de chavetero	Plato divisor - Punto	Se realizará 3 pasadas para la realización de la chaveta
2	1	15	Reorientación	Plato divisor - Punto	Se girará la pieza 180º respecto de su eje de revolución
2	1	16	Ranurado de chavetero	Plato divisor - Punto	Se realizará 3 pasadas para la realización de la chaveta

Tabla 43: Plan de procesos de la punta del eje del lado alto del transportador.

Para más información sobre la selección del material de este componente se puede consultar el anexo “justificación de selección de materiales” del presente proyecto. Para información sobre las medidas finales del muñón y más detalles se puede consultar el anexo “planos”.

2.5. Prensaestopas

Para la mejora de la estanqueidad del equipo se ha decidido instalar un prensaestopas. El prensaestopas es un componente importante en el presente proyecto ya que la estanqueidad completa del equipo dependerá en gran medida de este componente. El prensaestopas se compone de dos piezas: la cajera (para contener la empaquetadura) y el prensa (para comprimir la empaquetadura).

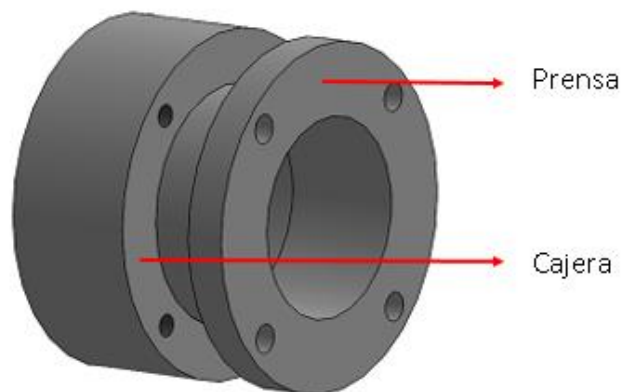


Imagen 117: Partes del prensaestopas.

2.5.1. Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño que se han seguido a la hora de diseñar el prensaestopas son los siguientes:

- Holgura diametral de 5 mm respecto al eje. Suficiente para evitar el contacto metal-metal entre el eje y el prensaestopas.
- Evitar chaflanes que puedan provocar el deterioro de la empaquetadura.
- Cuatro pernos para poder presionar de forma homogénea la empaquetadura.
- Rugosidad interior de la cajera menor a $1,6\mu\text{m}$ para permitir la correcta instalación de los anillos de empaquetadura.
- Espacio para instalar tres anillos de empaquetadura.
- Brida del prensa de suficiente espesor para que no sufra deformaciones durante el apriete.
- Mínima holgura entre el prensa y la cajera. Lo justo para que el prensa se pueda introducir correctamente.
- Roscas interiores mecanizadas en la cajera para poder roscar los pernos de apriete.

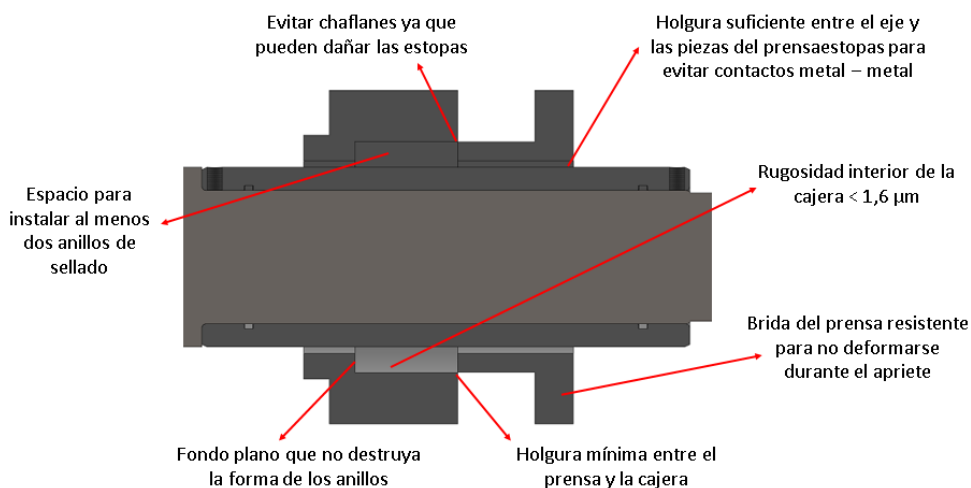


Imagen 118: Detalles del prensaestopas.

2.5.2. Plan de procesos de la cajera

Para la fabricación de la cajera se partirá de una barra perforada de $L=80\text{mm}$ de $D_{\text{ext}}=132\text{mm}$ y $D_{\text{int}}=71\text{mm}$.

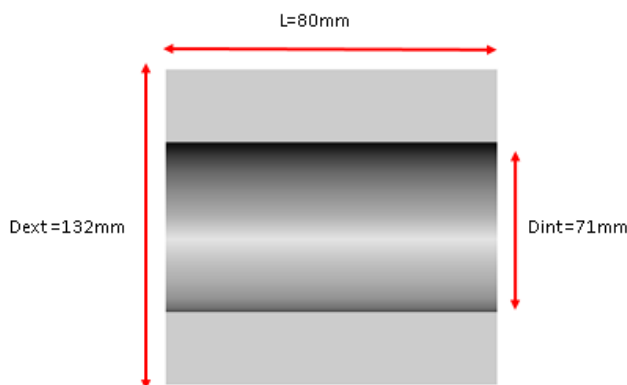


Imagen 119: Dimensiones del tocho inicial.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar la geometría final del puntero con las superficies numeradas que se van a mecanizar con el objetivo de que sea más fácil entender el plan de procesos:

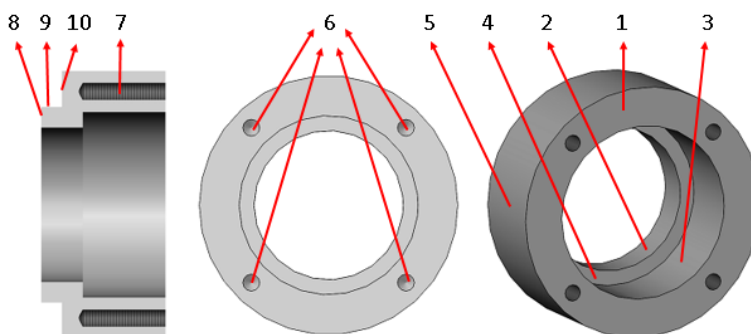


Imagen 120: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Set up torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado de 5mm para la obtención de la superficie 1. Se realizarán cinco pasadas de 1mm.
1	1	2	Cilindrado interior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado interior de toda la pieza para obtener la superficie 2. Se realizará una pasada de 2mm y dos pasadas de 1mm para obtener los 75mm de diámetro interior.
1	1	3	Cilindrado interior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado interior de 40mm de longitud desde la superficie 1 para obtener la superficie 3 y 4. Se realizarán siete pasadas de 2mm y dos pasadas de 0,5mm para obtener los 90mm de diámetro interior.
1	1	4	Cilindrado exterior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado exterior de 60mm de longitud desde la superficie 1 para obtener la superficie 5. Se realizará dos pasadas de 1mm para obtener los 130mm de diámetro exterior.
1	1	5	Marcado de centro	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará el marcado de centro de los cuatro taladros de la pieza.
1	1	6	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante	Taladrado de 8,5mm de diámetro y 40 mm de profundidad para obtener los cuatro taladros de la pieza.
1	1	7	Roscado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizarán los cuatro roscados M10 de la pieza para obtener la superficie 7.
1	1	8	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante	Se voltará la pieza para realizar las operaciones del lado opuesto. Se amarrará la pieza con el plato de 3 garras autocentrante.
1	1	9	Tronzado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un tronzado para eliminar 10mm de longitud a la pieza.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	1	10	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado de 5mm para obtener la superficie 8 de la pieza. Con esta operación se obtendrá la longitud final de la pieza. Se realizarán cuatro pasadas de 1mm y dos de 0,5mm.
1	1	11	Cilindrado exterior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado exterior de 10mm de longitud desde la superficie 8 para obtener las superficies 9 y 10. Se realizarán diecisiete pasadas de 2mm, y una pasada de 1mm para obtener los 95mm de diámetro.

Tabla 44: Plan de procesos del casquillo del prensaestopas.

2.5.3. Plan de procesos del prensa

Para la fabricación del prensa se partirá de una barra perforada de $L=50\text{mm}$ de $D_{\text{ext}}=132\text{mm}$ y $D_{\text{int}}=71\text{mm}$.

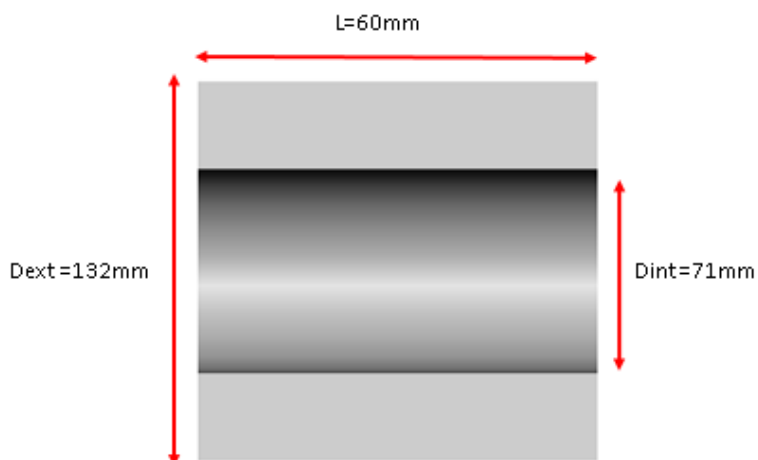


Imagen 121: Dimensiones del tocho inicial.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar la geometría final del prensa con las superficies numeradas que se van a mecanizar con el objetivo de que sea más fácil entender el plan de procesos:

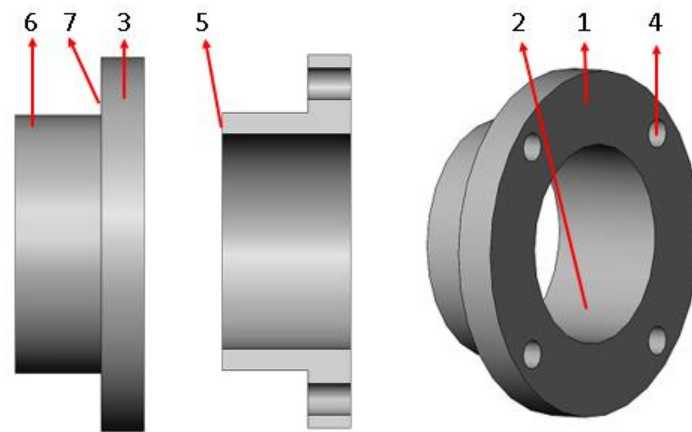


Imagen 122: Superficies numeradas para identificar las diferentes operaciones de mecanizado.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	0	0	Set up torno		El operario preparará el torno para su utilización.
1	1	1	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado de 5mm para la obtención de la superficie 1. Se realizarán cinco pasadas de 1mm.
1	1	2	Cilindrado interior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado interior de toda la pieza para obtener la superficie 2. Se realizará una pasada de 2mm y dos pasadas de 1mm para obtener los 75mm de diámetro interior.
1	1	3	Cilindrado exterior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado exterior de 45mm de longitud desde la superficie 1 para obtener la superficie 3. Se realizará dos pasadas de 1mm para obtener los 130mm de diámetro exterior.
1	1	4	Marcado de centro	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará el marcado de centro de los cuatro taladros de la pieza.
1	1	5	Taladrado	Plato de tres garras autocentrante	Taladrado de 11mm de diámetro y 17 mm de profundidad para obtener los cuatro taladros de la pieza.
1	1	6	Reorientación	Plato de tres garras autocentrante	Se volteará la pieza para realizar las operaciones del lado opuesto. Se amarrará la pieza con el plato de 3 garras autocentrante.

Fase	Subfase	Operación	Nombre de la operación	Tipo de amarre	Descripción
1	1	7	Tronzado	Plato de tres garras autocentrante	Se realizará un tronzado para eliminar 7mm de longitud a la pieza.
1	1	8	Refrentado	Plato de tres garras autocentrante	Refrentado de 3mm para obtener la superficie 5 de la pieza. Con esta operación se obtendrá la longitud final de la pieza. Se realizarán dos pasadas de 1mm y dos de 0,5mm.
1	1	9	Cilindrado exterior	Plato de tres garras autocentrante	Cilindrado exterior de 30mm de longitud desde la superficie 5 para obtener las superficies 6 y 7. Se realizará diecinueve pasadas de 2mm, dos de 1mm y una final para obtener los 89,9mm de diámetro exterior.

Tabla 45: Plan de procesos del prensa del prensaestopas.

2.6. Casquillo para los retenes

2.6.1. Introducción

Uno de los componentes que se ha incorporado al equipo para la mejora de la estanqueidad es un casquillo que permite instalar tres retenes en su interior. Este componente se instalará tanto en la tapa superior del transportador como en la inferior. La fabricación de esta pieza será realizada por una empresa externa, por lo que en este apartado sólo se expondrán los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para diseñar este casquillo.

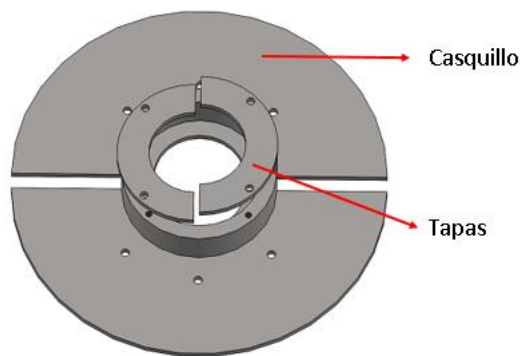


Imagen 123: Detalle del casquillo para los retenes.

2.6.2. Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para el diseño de este componente han sido los siguientes:

- Casquillo diseñado para instalarlo en la parte interior del equipo ya que en la parte exterior no se dispone de suficiente espacio axial.
- Tolerancia ISO H 8 en el diámetro donde va a apoyar la camisa exterior del retén.
- Rugosidades $R_{max} < 16\mu m$, $R_a = 0,8$ a $3,2\mu m$, $R_z = 6,3$ a $16\mu m$ para las zonas donde va a apoyar la camisa exterior del retén.
- Chaflanes en la superficie donde se introducen los retenes para evitar la rotura de la camisa exterior del retén.
- Casquillo partido para que se pueda observar el estado de los retenes sin tener que desmontar las tapas, rodamientos, etc.
- El material será un inoxidable AISI 304.
- Paredes suficientemente gruesas ya que se necesita una rigidez mínima para que el retén no dañe o deforme el casquillo.
- Holgura suficiente casquillo-eje para evitar contactos metal-metal cuando se produzca la flexión en el eje.
- Fijación del casquillo a la estructura mediante tornillos que se instalen desde el exterior de las tapas.

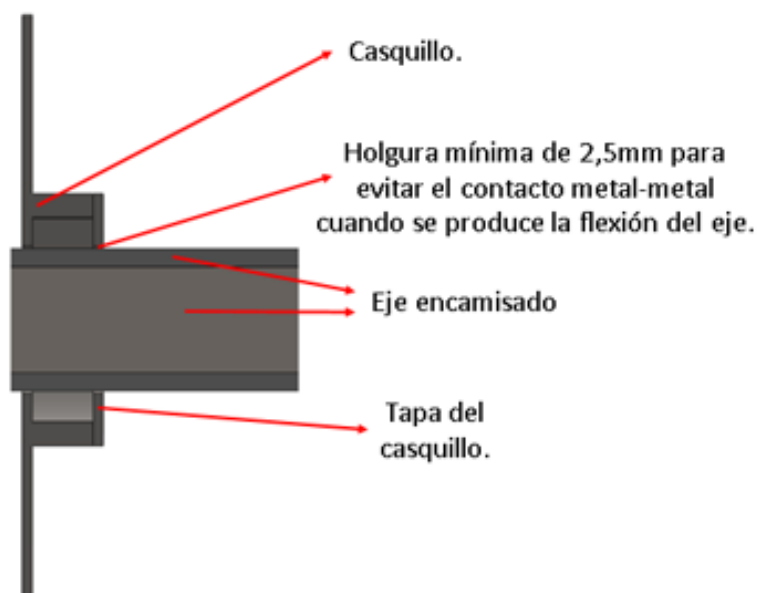
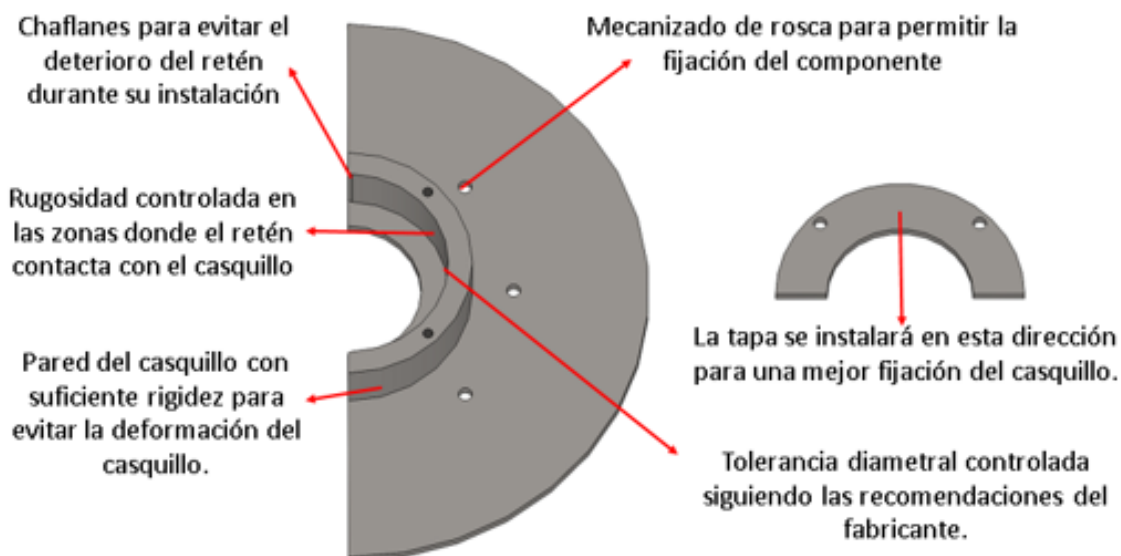


Imagen 124: Detalles del diseño de casquillo para los retenes.

2.7. Camisas

2.7.1. Introducción

Debido al desgaste al que someten los retenes y la empaquetadura a los ejes, se ha creído conveniente la instalación de unas camisas recubiertas de un material mucho más duro que el del eje. Esto permitirá que los retenes y la empaquetadura actúen mejor y que en caso de que haya desgaste no sea necesario sustituir los muñones, sino que sea suficiente con sustituir las camisas.

Debido a que ambas camisas van recubiertas de un material duro con una técnica para la cual no se dispone de equipo en la empresa, estas se solicitarán a un taller externo, por lo que en este apartado simplemente se expondrán los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta para el diseño de estos componentes.

2.7.2. Requisitos de diseño

Como se ha comentado anteriormente en la memoria, se van a instalar dos camisas, una en la parte superior y una en la parte inferior. Ambas camisas son idénticas en todo excepto en la longitud. Como para ambas camisas se han tenido en cuenta los mismos requisitos de diseño, este apartado se referirá solo a una camisa sobreentendiéndose que es aplicable a las dos.

Para el diseño de las camisas se ha tenido en cuenta que por la parte superior estarán en contacto los retenes, por lo que se ha consultado los requerimientos del fabricante de los retenes para el eje con el que van a estar en contacto. Adicionalmente, se han dispuesto dos juntas toricas en la parte interior de las camisas para que se produzca un cierre hermético y evitar fugas de producto por esta zona. El fabricante escogido tanto para los retenes como por las camisas es EPIDOR por lo que para el diseño de las mismas se ha tenido muy en cuenta las recomendaciones del fabricante de toricas y retenes.

Los requisitos de diseño para las camisas serán los siguientes:

- Necesario un mecanismo de fijación al eje para que giren solidariamente con el mismo y para no permitir que se puedan desplazar en sentido axial.
- La zona de la camisa que va a estar en contacto con los retenes cumplirá con los requisitos del fabricante del retén: tolerancia ISO h 11, ovalización IT8, rugosidad $R_a = 0,2-0,4\mu\text{m}$ $R_z = 1-5\mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 6,3\mu\text{m}$, dureza=45-60HRC, mecanizado superficial preferiblemente con un rectificado penetrante sin trazas de orientación.
- Chaflanes en las zonas por las que se instalan los retenes para evitar el deterioro del labio del retén.
- Mecanizado de ranuras interiores para instalar juntas toricas y evitar así la fuga de producto por esa zona.

- Redondeos en las zonas por donde se introducirán las toricas para evitar el deterioro de las mismas.
- Ajuste camisa-eje siguiendo las recomendaciones del catálogo de juntas toricas EPIDOR para permitir que estas actúen de forma correcta.
- Suficiente pared para que sea posible su mecanizado en el torno.

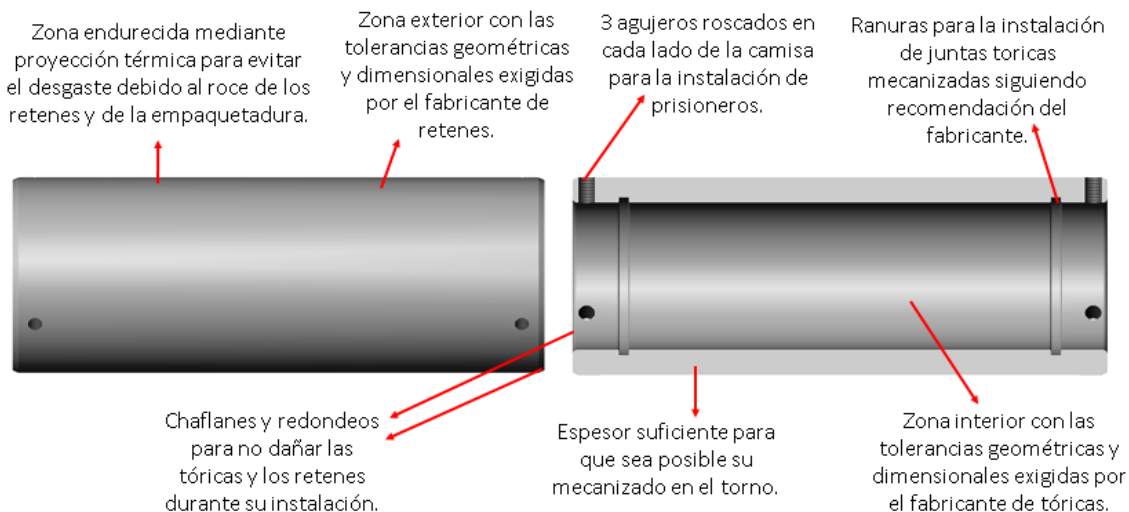


Imagen 125: Detalles del diseño de las camisas.

Para más información detallada del material base de las camisas y del recubrimiento se puede consultar el anexo “justificación de selección de materiales” del presente proyecto. Para información sobre el diseño en detalle de cada una de las camisas se puede consultar el anexo “planos”.

2.8. Tapas

2.8.1. Introducción

Para poder instalar las nuevas cajas de rodamientos se hace necesario modificar ambas tapas del transportador. En este apartado se explicará qué aspectos se han tenido en cuenta para diseñar las nuevas tapas con soportes para las cajas.

La fabricación de ambas tapas se ha solicitado a una empresa externa, ya que se trata de dos piezas muy importantes para el correcto funcionamiento del equipo.

2.8.2. Requisitos de diseño de la tapa inferior

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar la nueva tapa inferior del transportador son los siguientes:

- Suficiente espacio para poder instalar el prensaestopas y poder sustituir la empaquetadura cuando sea necesario.
- Soportes de espesor suficiente para poder soportar las cargas transmitidas por el eje.
- Refuerzos con cartelas para rigidizar la estructura.
- Respetar las medidas de las tapas actuales para que sea posible su instalación.
- Medidas del soporte necesarias para que los rodamientos queden concéntricos con el agujero del eje de las tapas.
- Respetar los requisitos del fabricante de rodamientos SKF para que se cumplan todas las condiciones en los soportes de los rodamientos y que estos puedan trabajar en perfectas condiciones.

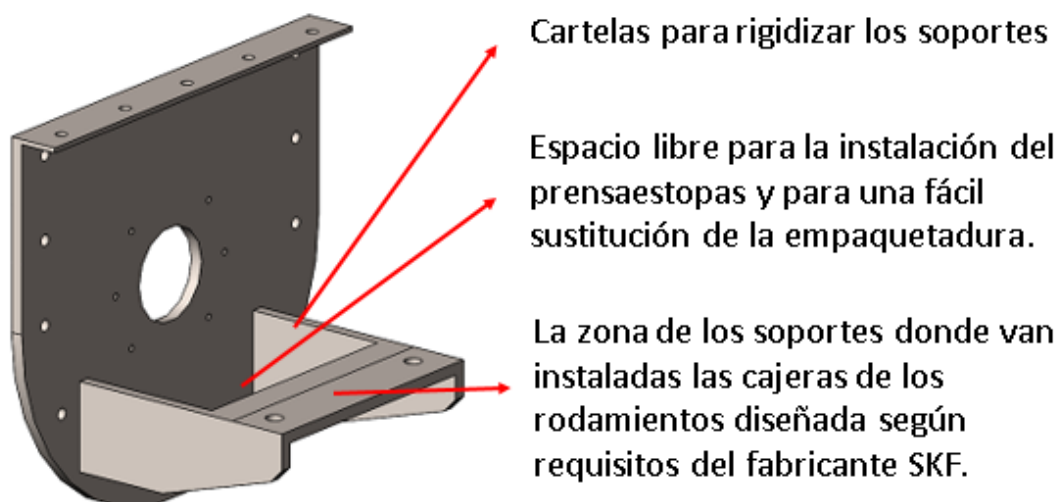


Imagen 126: Detalles del diseño de la tapa inferior del transportador.

2.8.3. Requisitos de diseño de la tapa superior

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar la nueva tapa superior del transportador son los siguientes:

- Tapa cuadrada y de mayor espesor para que el cordón de soldadura del soporte de la reductora pueda ser de mayor longitud.
- Soportes con el espesor suficiente para poder soportar las cargas transmitidas por el eje.
- Refuerzos con cartelas para rigidizar la estructura.
- Respetar las medidas de los agujeros de las tapas actuales para que sea posible su instalación.
- Medidas del soporte necesarias para que los rodamientos queden concéntricos con el agujero del eje de las tapas.
- Respetar los requisitos del fabricante de rodamientos SKF para que se cumplan todas las condiciones en los soportes de los rodamientos y que estos puedan trabajar en perfectas condiciones.



Imagen 127: Detalles del diseño de la tapa superior del transportador.

2.9. Soporte reductora

2.9.1 Introducción

Para la instalación del motor y la reductora se ha diseñado un soporte siguiendo la línea de los ya existentes en la instalación actual. Este soporte se fabricará en el taller estático de la empresa.

2.9.2. Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar el soporte del motor y la reductora son los siguientes:

- Debidamente dimensionado para ser capaz de soportar los esfuerzos a los que se va a someter.
- Refuerzos con cartelas para rigidizar la estructura.
- Dejar espacio para la instalación de silentblocks entre el soporte y los anclajes de la reductora.
- Taladros situados en las cartelas para poder fijar la tapa protectora del acoplamiento.

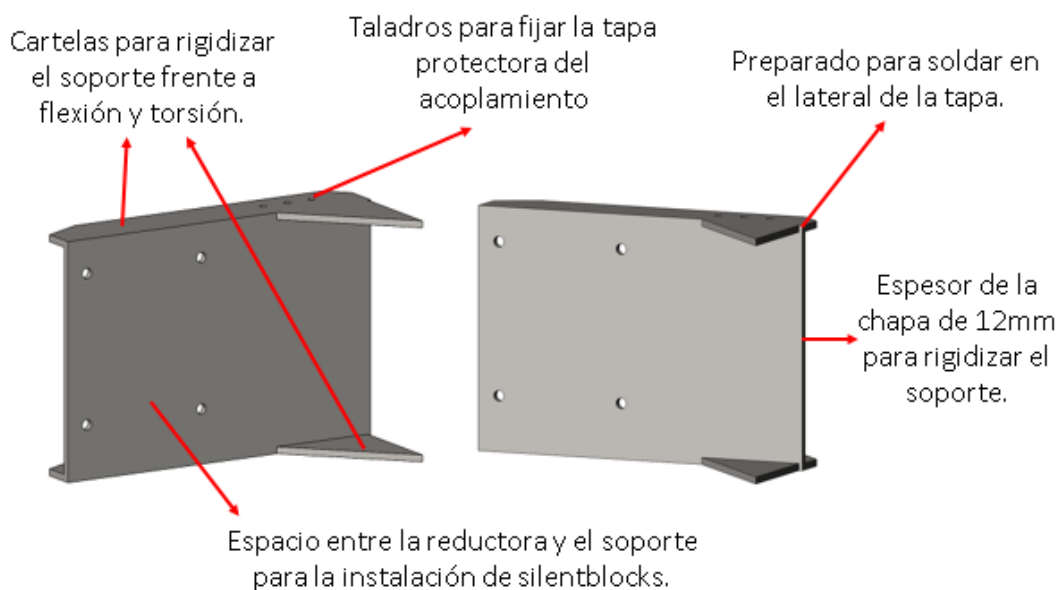


Imagen 128: Detalles del diseño del soporte de la reductora.

A continuación se presenta una tabla para realizar una inspección de todas las medidas de los componentes que se van a fabricar para el equipo.

[illegible]

Imagen 46: Tabla de inspección de calidad.

ANEXO IV: GAMA DE MANTENIMIENTO Y PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DEL EQUIPO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	211
2. GAMA DE MANTENIMIENTO	211
2.1. Gama de mantenimiento mensual.....	211
2.2. Gama de mantenimiento semestral	212
3. PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DEL CO-431-2	213
3.1. Introducción	213
3.2. Croquis del equipo	213
3.3. Partes a sustituir/reparar	214
3.3.1. Motor	214
3.3.2. Reductora	214
3.3.3. Empaquetadura.....	214
3.3.4. Estrella flexible del acoplamiento	215
3.3.5. Rodamientos	215
3.3.6. Retenes.....	216
3.4. Comprobaciones previas a la puesta en marcha	217
3.5. Comprobaciones posteriores a la puesta en marcha.....	217
3.6. Resumen de repuestos.....	218

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se establecerá una gama de mantenimiento para el equipo y se presentará un procedimiento de reparación del equipo CO-431-2 en el que se explicará cómo proceder para la sustitución de los diferentes componentes.

2. GAMA DE MANTENIMIENTO

Se han establecido dos gamas de mantenimiento para la nueva instalación, una mensual y una semestral que coincidirá con la parada semestral de la unidad, ya que la unidad 431 se para durante una semana cada seis meses.

2.1. Gama de mantenimiento mensual

La gama de mantenimiento mensual consiste en realizar las siguientes operaciones:

UBE		GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
GAMA:		GM.MM.		CO-431-2	
Nº REVISIÓN		0		FECHA REVISIÓN	10-10-2016
CLASE DE GAMA:		GENERAL		FRECUENCIA:	MENSUAL
ESPECIAL	NO	GENÉRICA	NO	IMPORTANTE	SÍ
EQUIPO PARADO		NO		PLANTA PARADA	NO
HORAS		0,25		Nº HOMBRES	1
MEDIOS					
DESCRIPCIÓN DE LA GAMA					
1- Revisar posibles fugas de producto y apretar de la empaquetadura en caso necesario. 2- Comprobar el nivel de aceite de la reductora. 3- Comprobar las uniones roscadas del equipo. Prestar especial atención a los pernos de anclaje de la reductora. 4- Realizar una inspección auditiva y comprobar que no existan ruidos extraños en el equipo que puedan ser síntoma de alguna anomalía. 5- Comprobar el engrase de los rodamientos del motor.					
SEGURIDAD / PROTECCIÓN					

Tabla 47: Gama de mantenimiento mensual.

2.2. Gama de mantenimiento semestral

La gama de mantenimiento semestral consiste en:

UBE		GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
GAMA:	GM.MM.67 (R-3)	CO-431-2	
Nº REVISIÓN	0	FECHA REVISIÓN	10-10-2016
CLASE DE GAMA:	GENERAL	FRECUENCIA:	SEMESTRAL
ESPECIAL	NO	GENÉRICA	NO
IMPORTANTE	SÍ		
EQUIPO PARADO	SÍ	PLANTA PARADA	NO
HORAS	2	Nº HOMBRES	4
MEDIOS			
DESCRIPCIÓN DE LA GAMA			
1- Verificar estado de la carcasa y comprobar que las tapas cierran correctamente. En caso necesario reparar. 2- Comprobar estado general del eje y de la hélice y si el ala está doblada avisar a Fiabilidad e Inspección. 3- Sustituir por nuevos los elementos de estanqueidad (retenes y anillos de empaquetadura). 4- Comprobar el desgaste de las camisas y si presentan desgaste avisar a Fiabilidad e Inspección. 5- Abrir las cajas de los rodamientos y realizar las siguientes acciones: limpiar la grasa de relleno y sustituirla por grasa nueva, comprobar el estado de los rodamientos y sustituir si se observa alguna anomalía, revisar estado de los laberintos, tuerca de fijación, etc.). 6- Si se observan indicios de que las hélices del eje está rozando con la carcasa avisar a Fiabilidad e Inspección. 7- Comprobar el estado de los diferentes componentes del prensa estopas y verificar que no han sufrido desgaste por contactos con el eje. 8- Comprobar el estado del textil de unión del sin fin y de la centrífuga. En caso necesario sustituir o reparar. 9- Revisar acoplamiento y sustituir desgastable en caso necesario. 10- Verificar el correcto funcionamiento del motor y reductora y revisar en caso necesario. 11- Sustituir aceite de la reductora. 12- Si la carcasa del motor o la reductora presentan corrosión, realizar aviso de avería para su saneamiento y pintado. 13- Limpiar el ventilador del motor y las aletas del motor y de la reductora. 14- Comprobar el estado de los silentblocks y sustituir en caso necesario. 15- Revisar el estado de la chapa inclinada instalada en el interior de la tolva de la centrífuga. 16- Revisar el estado de la canaleta de la centrífuga. 17- Revisar el estado general de la estructura del equipo: soportes de las cajas de rodamientos, soporte de la reductora, patas, etc. 18- Comprobar el estado de las chavetas de los ejes y del acoplamiento.			
SEGURIDAD / PROTECCIÓN			

Tabla 48: Gama de mantenimiento semestral.

3. PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DEL CO-431-2

3.1. Introducción

En este apartado se explicará el procedimiento de reparación del equipo CO-431-2, transportador helicoidal de SA situado aguas debajo de la centrífuga M-2 y aguas arriba del secador M-432-5.

Una buena práctica para realizar el mantenimiento de este equipo sería identificar todas las piezas antes de proceder a su desmontaje.

INDICACIONES DE SEGURIDAD: A la hora de realizar tareas de mantenimiento con equipos rotativos, es necesario desembornar el motor de la línea eléctrica, y es obligatorio respetar el protocolo de utilización de candados para cerrar las puertas de la correspondiente subestación.

NOTA: En caso de que alguna de las piezas a reparar no disponga de repuesto en la empresa, es necesario comprobar si se pueden fabricar en el propio taller o en un taller externo. De no poder fabricarse, es necesario contactar con el fabricante cuanto antes para obtener una solución.

3.2. Croquis del equipo

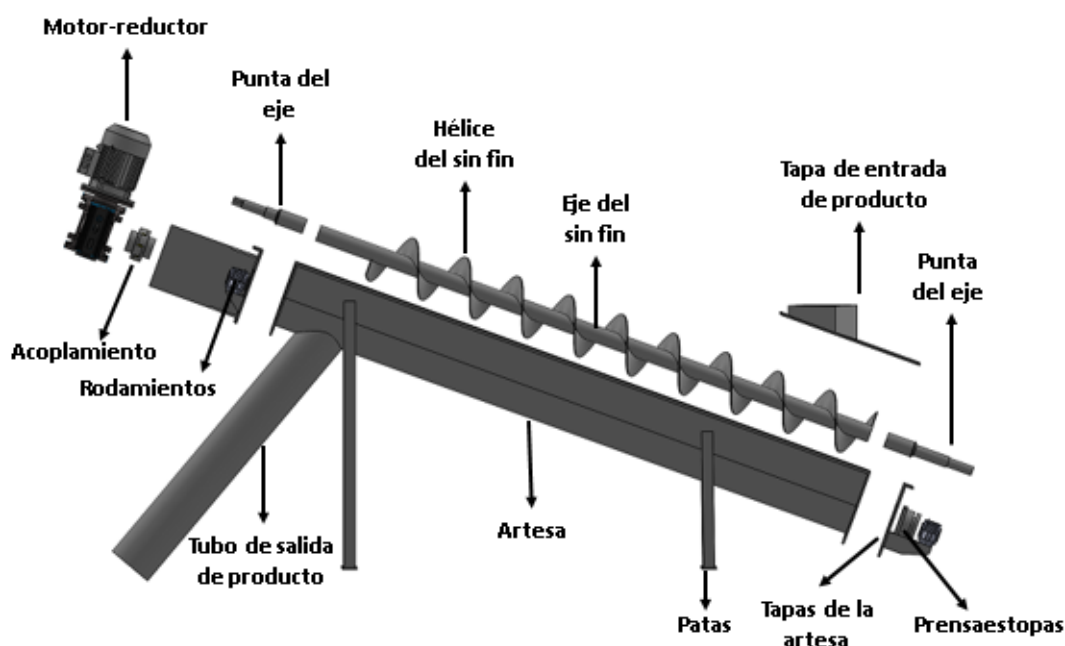


Imagen 130: Componentes del equipo.

3.3. Partes a sustituir/reparar

3.3.1. Motor

Se trata de un motor de la marca ABB de 7,5 CV (5,5KW) con acople de brida para su instalación en la reductora. Para la sustitución del motor se deberá seguir los siguientes pasos:

-Paso 1: Desembornar los cables del motor.

-Paso 2: Desenroscar los tornillos M10 que lo unen a la reductora y extraer el motor con la ayuda de un tractel y una cuerda apropiada.

Para proceder al montaje del motor seguir los pasos citados anteriormente a su montaje pero a la inversa.

3.3.2. Reductora

Se trata de una reductora de la marca CIDEPA de 7,5 CV (5,5KW) con acople de brida para la instalación del motor. Para la sustitución de la reductora se deberá seguir los siguientes pasos:

-Paso 1: Seguir los pasos mencionados en el punto 3.3.1 para el desmontaje del motor.

-Paso 2: Extraer la tapa protectora del acoplamiento.

-Paso 3: Sujetar la reductora con un tractel y una cuerda y proceder a extraer las 8 tuercas M16 de los silentblocks que unen la reductora con el soporte.

-Paso 4: Desacoplar ambas partes del acoplamiento y bajar la reductora.

Para proceder al montaje de la reductora seguir los pasos citados anteriormente a su montaje pero a la inversa.

3.3.3. Empaquetadura

Se trata de tres anillos de empaquetadura de la marca LATTYflon 4758 de sección 10x10mm. Para la sustitución de la empaquetadura se deberá seguir los siguientes pasos:

-Paso 1: Preparar tres anillos de empaquetadura para un eje de 70mm de diámetro. El corte de la empaquetadura se realizará a 45°.

-Paso 2: Extraer la tapa del prensaestopas desenroscando las 8 tuercas M10.

-Paso 3: Extraer la empaquetadura del prensaestopas.

-Paso 4: Limpiar en la medida de lo posible la zona donde van instalados los nuevos anillos.

-Paso 5: Introducir los anillos de empaquetadura teniendo en cuenta que los cortes de los diferentes anillos no deben coincidir.

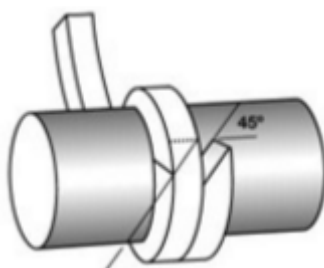


Imagen 131: Instalación de la empaquetadura.

-Paso 6: Apretar la tapa del prensaestopas teniendo en cuenta que todos las tuercas deben apretarse por igual para que quede concéntrico con el eje.

Se debe controlar el par de apriete de la empaquetadura. Un par de apriete muy bajo podría ocasionar la fuga de producto. Un par de apriete muy alto podría ocasionar fricciones demasiado altas e innecesarias.

3.3.4. Estrella flexible del acoplamiento

Se trata de una estrella flexible de la marca ALBERT de material NBR y 150mm de diámetro. Para la sustitución de la estrella flexible se deberá seguir los siguientes pasos:

-Paso 1: Seguir los pasos mencionados en el punto 3.3.1 y 3.3.2 para el desmontaje del motor y la reductora.

-Paso 2: Sustituir la estrella flexible del acoplamiento.

-Paso 3: Instalar de nuevo el motor y la reductora y dejar 2mm de GAP entre ambas partes del acoplamiento para que pueda absorber las desalineaciones correctamente.

3.3.5. Rodamientos

Se trata de unos rodamientos SKF BS2-2211-2CSK VT143, un soporte SKF SE 511/609, unos cierres de laberinto para un eje de 50mm, un manguito de fijación SKF H2311, unos anillos de fijación SKF FRB 6/11 y unas juntas V-RING 75,5x6x9,5 H-PUR. Para la sustitución de los rodamientos se procederá de la siguiente forma:

-Paso 1: Si se trata del rodamiento del lado alto del transportador (lado motor) habrá que seguir los pasos de los puntos 3.3.1 y 3.3.2 para extraer el motor y la reductora. Si se trata del rodamiento del lado bajo del transportador se pueden sustituir más fácilmente.

-Paso 2: Marcar el eje para saber la zona exacta donde quedan instalados los rodamientos.

-Paso 3: Extraer la tapa de las cajas de los rodamientos y limpiar la grasa que contiene la caja.

-Paso 4: Extraer los anillos de fijación y desenroscar los prisioneros de las obturaciones laberínticas.

-Paso 5: Desenroscar la tuerca KM y golpear sin dañar los rodamientos para soltarlos del manguito de fijación.

-Paso 6: Abrir el manguito introduciendo un destornillador plano en la ranura del manguito.

-Paso 7: Extraer la cajera junto con todas las piezas deslizándolas sobre el eje.

Para proceder al montaje de los rodamientos se procederá de la siguiente forma:

-Paso 1: Limpiar la zona del eje donde van montados los rodamientos.

-Paso 2: Preparar las nuevas cajeras con los cierres laberínticos y los rodamientos montados sobre el manguito de fijación y la tuerca KM roscada sin que ejerza presión. La tuerca KM siempre va montada en el dado exterior del eje.

-Paso 3: Deslizar todo el conjunto sobre el eje hasta posicionarlo en las marcas de las cajeras anteriores. Una vez en su posición fijar la cajera a los soportes.

-Paso 4: Una vez posicionado el rodamiento, fijar el manguito y el rodamiento con la tuerca KM.

-Paso 5: El rodamiento del lado bajo va fijado por ambos lados de la cajera con los anillos de fijación. El rodamiento del lado alto (lado reductora) solamente irá fijado por el lado interior e irá libre por el lado exterior del eje para permitir la dilatación por temperatura del mismo. Este rodamiento debe tener un espacio libre por el lado exterior de al menos, 2mm.

-Paso 6: Llenar las cajeras de grasa protectora hasta la mitad aproximadamente.

-Paso 7: Tapar ambas cajeras con la tapa superior.

3.3.6. Retenes

Se trata de 6 retenes de la marca EPIDOR modelo B2PT dimensiones 70x100x10 de material PTFE. Para la sustitución de la estrella flexible se deberá seguir los siguientes pasos:

-Paso 1: Seguir los pasos mencionados en los puntos anteriores para extraer el motor, la reductora y los rodamientos.

-Paso 2: Extraer las dos tapas de los transportadores.

-Paso 3: Extraer las camisas de los muñones e introducir los 3 retenes sobre ellas.

-Paso 4: Desmontar los casquillos de los retenes y extraer los viejos retenes.

-Paso 5: Volver a montar las camisas, las tapas, los rodamientos, etc.

-Paso 6: Situar los retenes en su lugar exacto y fijarlos montando el casquillo.

3.4. Comprobaciones previas a la puesta en marcha

Descripción de la tarea	Check
Verificar todas las uniones roscadas.	
Comprobar que el sentido de giro del equipo es el adecuado para el transporte del producto. Para ello prestar atención al giro de la hélice.	
Comprobar que el eje de la reductora esté alineado con el del transportador.	
Comprobar que el GAP de las dos partes del acoplamiento es el adecuado.	
Comprobar que todos los componentes que necesiten lubricación se encuentren lubricados (nivel de aceite de la reductora, rodamientos del motor, rodamientos del eje, etc)	
Comprobar que todas las dos tapas superiores del equipo cierran bien para asegurarse del correcto funcionamiento de los sensores inductivos.	
Comprobar que las hélices del sin fin no se encuentran dobladas	

Tabla 49: Comprobaciones previas a la puesta en marcha.

3.5. Comprobaciones posteriores a la puesta en marcha

Descripción de la tarea	Check
Comprobar que no existan fugas de producto.	
Comprobar que el equipo marcha suave (ausencia de ruidos, vibraciones fuera de lo normal, etc)	
Comprobar que las hélices del eje y las camisas no rozan con la carcasa del transportador.	
Comprobar que el acoplamiento flexible absorbe las desalineaciones del eje durante su funcionamiento.	
Comprobar que la salida de producto del transportador es la idónea.	
Comprobar la temperatura del motor, reductora y rodamientos es la correcta.	

Tabla 50: Comprobaciones posteriores a la puesta en marcha.

3.6. Resumen de repuestos

Código	Repuesto
	Reductora CIDEPA MFS 130/30 7,5CV
	Chaveta DIN 6885 A INOX 14X9X45
	Chaveta DIN 6885 A INOX 14X9X150
	Motor ABB acople B5 5,5KW
	Reten EPIDOR B2PT 70x100x10
	Silentblock e=30mm D=65mm
	Estrella flexible NBR acoplamiento ALBERT diámetro 150
	Empaquetadura LATTYflon 4758 sección 10x10
	Camisa recubierta de Stellite 6 L=190mm
	Camisa recubierta de Stellite 6 L=65
	Soporte de rodamientos SKF SNL 511-609
	Cierre laberíntico para cajas de D=50
	Manguito de fijación cónico SKF H2311E
	Anillo de fijación SKF FRB 6,5/100
	Rodamiento BS2-2211-2CSK/VT143
	Compensador textil
	Punta del eje dúplex AISI 2205 lado reductora
	Punta del eje dúplex AISI 2205 lado opuesto reductora
	Junta V-RING 75,5x6x9,5 H-PUR
	Eje reductora dúplex AISI 2205

Tabla 51: Repuestos codificados para la instalación.

ANEXO V: JUSTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	223
2. MATERIALES UTILIZADOS	223
3. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON PRODUCTOS QUÍMICOS	224
4. PUNTAS DEL EJE	225
5. RECUBRIMIENTO DE LA CAMISA	226
5.1. Técnica Laser Cladding	228
5.1.2. Características y ventajas del proceso	229
5.1.3. Materiales de aporte	229
5.1.4. Campos de aplicación	229
5.2. Stellite 6	230
6. MATERIALES UTILIZADOS	231
6.1. Aceros inoxidables	231
6.1.1. AISI 304	232
6.1.2. AISI 316/316L/316Ti	233
6.1.3. Diferencias entre el AISI 304 y el AISI 316	234
6.1.4. AISI 2205	234
6.2. Elastómeros	235
6.2.1. NBR	236
6.2.2. FPM	237
6.2.3. PTFE	238
7. PINTURA LINE-X	239
8. ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA	240
8.1. Soldadura de materiales iguales.	240
8.2. Soldadura de materiales disímiles	241
9. DESIGNACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES	242

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente anexo es describir qué tipo de materiales se han seleccionado para los componentes adquiridos o fabricados para la modificación del equipo y justificar que resisten la corrosión producida por Sulfato Amónico.

Debido a que el sulfato amónico es un producto muy corrosivo, se han seleccionado cuidadosamente todos los materiales de los componentes fabricados o adquiridos en el mercado para la ejecución del presente proyecto. Para ello, después de seleccionar el material idóneo, se ha comprobado con las tablas de compatibilidad química que el material es resistente frente a la corrosión por sulfato amónico.

2. MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales utilizados para los diferentes componentes del equipo han sido seleccionados en base a la experiencia y con el uso de tablas de compatibilidad de materiales con productos químicos. Los materiales utilizados son los siguientes:

Componente	Material
Patas	AISI 304
Entronque	AISI 304
Casquillo retenes	AISI 304
Tapas (lado bajo y lado alto)	AISI 304
Prensaestopas	AISI 304
Tolva de entrada de producto al transportador	AISI 304
Soporte de la reductora	AISI 304
Tapa protectora del acoplamiento	AISI 304
Galleta	AISI 304
Chapa interior de la centrífuga	AISI 304
Acople tolva de salida de la centrífuga-textil	AISI 304
Soporte de la chapa interior de la centrífuga	AISI 304
Tornillería	AISI 304
Camisas (material base)	AISI 316
Camisas recubrimiento	Stellite 6
Acoplamiento	AISI 316L
Puntas del eje	AISI 2205
Eje reductora	AISI 2205
Reductora (carcasa)	Fundición gris + pintura X-Line
Motor (carcasa)	Fundición gris + pintura X-Line
Soportes rodamientos SKF SNL 509/611	Fundición gris + pintura X-Line
Retenes del motor y de la reductora	NBR
Estrella del acoplamiento	NBR
Juntas toricas de la camisa	NBR
Retenes del transportador	Casco exterior AISI 316Ti, junta torica FPM, labio de estanqueidad PTFE

Tabla 52: Materiales utilizados en el proyecto para los diferentes componentes.

3. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES CON PRODUCTOS QUÍMICOS

Las tablas de compatibilidad de materiales con productos químicos son tablas que se han elaborado mediante la experiencia o mediante pruebas en el laboratorio, por lo que resulta una fuente de información bastante fiable.

Para justificar que estos materiales son resistentes a la corrosión por Sulfato Amónico se han consultado cuatro tablas diferentes de compatibilidad química y se ha seleccionado el resultado más desfavorable.

Cómo los resultados pueden diferir ligeramente entre unas tablas y otras, se consultarán los resultados en cuatro tablas diferentes y se seleccionará el resultado más desfavorable.

Las tablas de compatibilidad utilizadas para cada fila de la tabla han sido las siguientes:

- <http://www.genebre.es/documentos/otros/Tabla%20compatibilidad%20qu%C3%ADmica.pdf>
- <http://www.fluinort.cl/2013/wp-content/uploads/2015/04/TABLA-QUIMICA-GOMAS-Y-METALES.pdf>
- http://www.indesur.com.ar/pdf/tabla_de_compatibilidad_quimica.pdf
- <http://www.coleparmer.com/Chemical-Resistance>

A continuación se pueden observar los resultados:

A: Excelente B: Bueno C: Pobre D: No usar

	PTFE	FPM	NBR	AISI 304	AISI 316	AISI 316Ti	AISI 2205	Fundición
Sulfato amónico 60°C	A	B	A	B	B	B	B	D
	A	A	A	B	B	B	B	D
	A	A	A	A	A	A	A	C
	A	B	A	B	B	B	B	D
CONCLUSIÓN	A	B	A	B	B	B	B	D

Tabla 53: Tabla de compatibilidad de productos químicos con materiales.

Como se puede apreciar todos los materiales son compatibles con el sulfato amónico excepto la fundición gris de la carcasa del motor, reductora y cajas de los rodamientos. La razón por la cual se ha seleccionado este material para estos tres componentes es porque para esta potencia no existen motores ni reductoras de acero inoxidable y tampoco cajas de rodamientos de este tamaño de inoxidable. Por tanto se le dará un recubrimiento con Line-X para crear una capa que sea resistente a la corrosión.

4. PUNTAS DEL EJE

A la hora de seleccionar el material para un eje, es importante tener en cuenta que este va a trabajar a fatiga (va a soportar diferentes esfuerzos de tracción – compresión), va a estar sometido a torsión por la transmisión de fuerza y también soportará esfuerzos de flexión, cortante, etc.

Para aplicaciones de proceso químico generales, en las que se trabaja en ambientes corrosivos, se recomienda el uso de ejes sólidos de acero inoxidable ya que ofrecen las siguientes ventajas de reducir los efectos perjudiciales de la deflexión y la vibración y de proporcionar resistencia a la corrosión en toda la longitud del eje.

En materiales que trabajan a fatiga, es muy interesante que sean duros en su superficie y dúctiles en su interior. Una mayor dureza en la superficie hace que sea más difícil la aparición de una grieta que pueda derivar en una posterior rotura del eje. El hecho de que interese un material dúctil es porque si se inicia una grieta, la propagación de esta es mucho más lenta, es decir se produciría una fractura dúctil.

Dicho esto, se proponen cuatro materiales de acero inoxidable que están siendo utilizados en la planta:

- AISI 316
- AISI 420
- AISI 2205
- AISI 304

En una primera selección, se descarta el AISI 420, ya que las puntas van soldadas al eje y el AISI 420 al tratarse de una estructura martensítica necesita de tratamientos térmicos para poder soldarlo correctamente al material del eje de la hélice (AISI 316).

Entre el AISI 316, el 304 y el 2205, se escoge el AISI 2205 por las siguientes razones:

- El AISI 2205, como el 316 y el 304, se puede soldar perfectamente al AISI 316 escogiendo los electrodos adecuados.
- El límite elástico del 2205 duplica al de los aceros austeníticos (AISI 304 y 316) y mantiene una resistencia a la corrosión similar al del AISI 316 y 304.
- El AISI 2205 tiene un precio de 6€/kg aproximadamente, frente a los 3€/kg del 304 y el 316. No obstante, el hecho de que no se necesita gran cantidad de material para mecanizar las puntas del eje, la diferencia de precio es mínima (100€ aproximadamente).
- Es interesante que el material de las puntas del eje tenga mejores propiedades que el de las chavetas (que son de AISI 316) para que en caso de deformarse plásticamente alguno de estos componentes, sean las chavetas las que se deformen.
- El AISI 2205 posee una ductilidad aceptable para un eje y una dureza superficial mayor que el 304 y el 316.

5. RECUBRIMIENTO DE LA CAMISA

Como se ha comentado en la memoria del presente proyecto, las zonas de las puntas del eje que estarán en contacto con los anillos de la empaquetadura y con los retenes serán zonas que deslizan sobre otras y entre las que existe un producto corrosivo y abrasivo, por lo que se crea una situación muy extrema de desgaste. Cuando se cumplen estas condiciones de trabajo, se puede decir que se asemeja a una acción de trituración y molienda entre las superficies en las que las superficies de deslizamiento van descomponiendo las partículas abrasivas creando nuevas aristas de corte.

Los requisitos del fabricante de retenes EPIDOR para el óptimo funcionamiento de los retenes son los siguientes:

- Dureza: > 45HRC
- Rugosidad: $R_a = 0,2 - 0,4 \mu\text{m}$; $R_z = 1 - 5 \mu\text{m}$; $R_{\text{max}} \leq 6,3 \mu\text{m}$
- Mecanizado superficial preferiblemente con un rectificado penetrante sin trazas de orientación en la zona de rodadura.
- Si se trata de un recubrimiento, la profundidad de la zona endurecida tiene que ser > 0,3 mm.
- Porosidad: No existencia de poros con una anchura mayor 0,05 mm.

Una vez se tiene los requisitos de la zona de contacto con los retenes, se ha seguido el siguiente esquema:

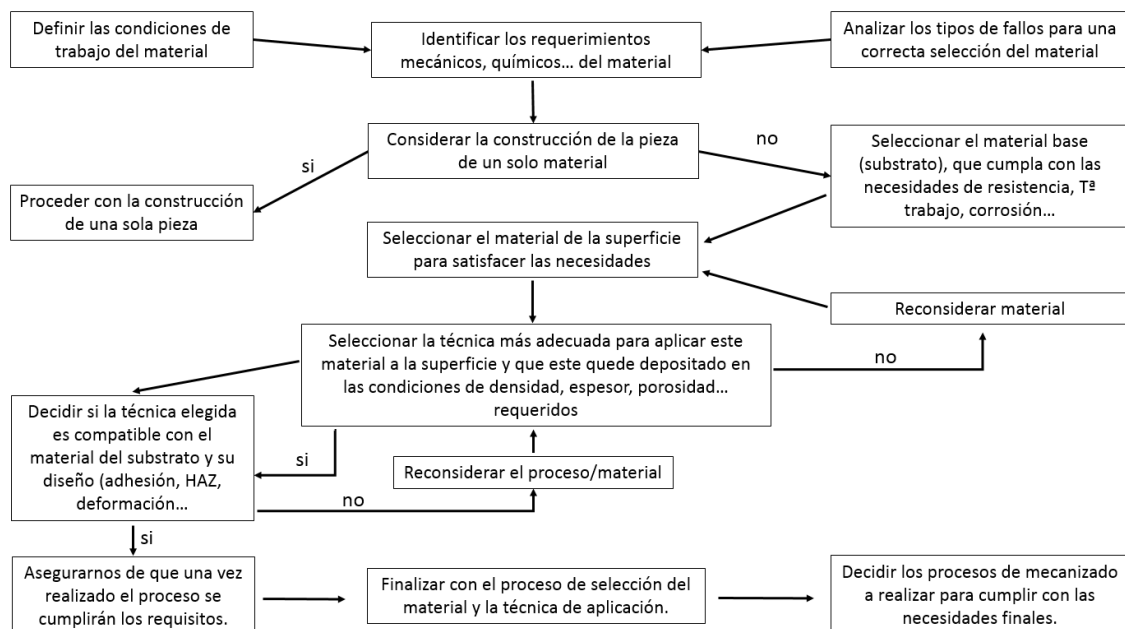


Imagen 132: Esquema extraído del libro "Surface engineering for corrosion and wear resistance".

Después de seguir el esquema se han extraído las siguientes conclusiones:

- Se descarta construir las camisas de un solo material, ya que con la dureza exigida (>45HRC) sería muy complicado y costoso mecanizar las camisas.
- Se escogerá un material base para las camisas resistente a la corrosión por sulfato amónico (AISI 316 o AISI 304) y se recubrirá con un material compatible con el que se puedan obtener los requisitos deseados.
- El recubrimiento seleccionado para endurecer la zona será resistente a la corrosión por sulfato amónico y no tendrá mayor contenido en Níquel que el AISI 316, ya que se ha tenido malas experiencias en la planta con recubrimientos base Níquel.

Con todo esto, se considera la mejor opción para satisfacer los requisitos anteriormente expuestos recubrir las camisas con la técnica Laser Cladding, dotándolas de un recubrimiento base cobalto (STELLITE 6) sobre un sustrato de material AISI 316.

5.1. Técnica Laser Cladding

Se trata de una técnica de recargue superficial por láser que consiste en la fusión de un material, aportado generalmente en forma de polvo, mediante la energía suministrada por un haz láser de alto poder calorífico y de alto rendimiento.

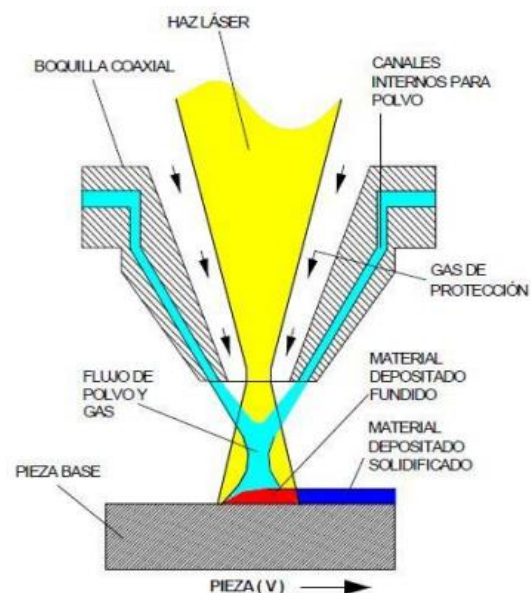


Imagen 133: Técnica Laser Cladding.

El Laser Cladding o recargue por láser utiliza un haz de alta potencia para fundir un material de aporte y una fina capa del sustrato para formar un recubrimiento libre de grietas y poros. Estas capas suelen tener espesores de entre 0,1 a 2mm con una baja dilución y unidas perfectamente al material base.

El Laser Cladding con inyección de polvo tiene ventajas respecto a otros procesos alternativos gracias a que es un proceso energéticamente más eficiente, más controlable y tiene más repetitividad. Los espesores que se consiguen varían por capa dependiendo del equipamiento y la aplicación deseada. Se pueden superponer varias capas para obtener mayores espesores de recubrimiento, incluso introduciendo capas de materiales distintos que ayuden a que las capas superficiales tengan mejores propiedades mecánicas (capas colchón).

La entrecara entre el material base y la capa aportada suele presentar una ligera dilución, generalmente menor que utilizando otros procesos como el aporte mediante electrodo. Esto hace que las capas de aporte obtenidas dependan principalmente de las propiedades del material aportado, sin que el material base tenga efecto. El material a aportar se selecciona acorde a las condiciones en las que la pieza vaya a trabajar.

Sus ventajas respecto a otros procesos son que esta técnica permite obtener recubrimientos de mejor calidad y que en la unión metalúrgica entre el sustrato y el aporte se minimizan efectos negativos como la dilución y el aporte energético a la pieza.

5.1.2. Características y ventajas del proceso

- Recubrimientos entre 0,1mm y varios mm de altura.
- Unión metalúrgica entre recubrimiento y pieza.
- Aporte de material en forma de polvo arrastrado mediante gas inerte por un dispensador regulable con diferentes parámetros que, combinados con el movimiento del robot y la potencia del láser ofrecen diferentes resultados en el cordón obtenido.
- Mínima aportación de calor sobre el material base. Esto supone un mínimo daño en la estructura de la pieza y una nula deformación.
- Ausencia de corrosión en la zona tratada.
- Alta densidad de la capa, ausencia de poros.
- Procesamiento de prácticamente todas las aleaciones metálicas.
- Baja dilución del material de aporte en la pieza.
- Buen acabado superficial.
- Programación de las trayectorias mediante robot, lo que permite una repetitividad asegurada y fiabilidad de un proceso automatizado.

5.1.3. Materiales de aporte

Hay una gran variedad de materiales que se pueden aportar mediante esta técnica dependiendo de las propiedades que se pretenden mejorar: resistencia a la abrasión, corrosión, dureza, conductividad, etc.

Hay que tener especial cuidado al elegir el material para que el sustrato y el material de aporte sean compatibles. De no ser así pueden aparecer problemas de falta de fusión, pérdida de propiedades mecánicas, fragilidad, etc.

Algunos ejemplos de los materiales que se pueden aportar son los siguientes:

- Inoxidables: AISI 316,420,431...
- Aleaciones base Cobalto: Stellites...
- Aleaciones base Níquel: Inconel...
- Carburo de Tungsteno.
- Aleaciones de Titanio.

5.1.4. Campos de aplicación

- Aumento de la vida en servicio de piezas mediante aporte de materiales de altas prestaciones.
- Reparación de piezas de alto valor añadido.
- Posibilidad de utilizar materiales más baratos reforzados superficialmente.
- Cambios de diseño de productos.

5.2. Stellite 6

Las aleaciones de Stellite base Cobalto combinan una excelente resistencia mecánica al desgaste, especialmente a altas temperaturas, con una buena resistencia a la corrosión. Se trata de aleaciones principalmente basadas en Cobalto con adiciones de Cromo, Carbono, Tungsteno y/o Molibdeno. Son aleaciones que mantienen sus propiedades a altas temperaturas donde también tienen una excelente resistencia a la oxidación. Normalmente se pueden acabar con excepcionales niveles de acabado superficial y con un bajo coeficiente de fricción para proporcionar un buen rendimiento de desgaste por deslizamiento. Algunas de las características del Stellite 6 son las siguientes:

NOMINAL COMPOSITION (MASS %) AND PHYSICAL PROPERTIES

Co	Cr	W	C	Others	Hardness	Density	Melting Range
Base	27 – 32	4 – 6	0.9 – 1.4	Ni, Fe, Si Mn, Mo	36 – 45 HRC 380 – 490 HV	8.44 g/cm ³ 0.305 lb/in ³	1285 – 1410°C 2340 – 2570°F

NOMINAL THERMAL EXPANSION COEFFICIENT (FROM 20°C/68°F TO STATED TEMPERATURE)

	100°C (212°F)	200°C (392°F)	300°C (572°F)	400°C (752°F)	500°C (932°F)	600°C (1112°F)	700°C (1292°F)	800°C (1472°F)	900°C (1652°F)	1000°C (1832°F)
μm/m.K	11.35	12.95	13.6	13.9	14.2	14.5	14.7	15.05	15.5	17.5
μ-inch/inch.°F	6.31	7.20	7.56	7.72	7.89	8.06	8.17	8.36	8.61	9.72

NOMINAL TENSILE PROPERTIES AT ROOM TEMPERATURE

	Ultimate Tensile Strength Rm		Yield Stress Rp (0.2%)		Elongation	Elastic Modulus	
	ksi	MPa	ksi	MPa	A(%)	psi	GPa
Castings	123	850	101.5	700	<1	30.3 x 10 ⁶	209
Stellite™ HS-6*	183.5	1265	109	750	3 – 5	34 x 10 ⁶	237

* "HS" = HIP-consolidated. Ref: Ashworth et al. Powder Metal 1999, 42[3], pp. 243 – 249, and internal tests.

NOMINAL HOT HARDNESS (DPH) AS-CAST

20°C (68°F)	100°C (212°F)	200°C (392°F)	300°C (572°F)	400°C (752°F)	500°C (932°F)	600°C (1112°F)	700°C (1292°F)	800°C (1472°F)	900°C (1652°F)
410	390	356	345	334	301	235	155	138	95

THERMAL AND ELECTRICAL PROPERTIES

	Approximate Value at Room Temperature	
	14.82 W/m.K	102.7 Btu-in/hr/ft ² /°F
Thermal Conductivity		
Electrical Resistivity	106 μ-ohm.cm	41.7 μ-ohm.inch

Tabla 54: Propiedades mecánicas y composición del Stellite 6. Datos extraídos de la web de la empresa KENNAMETAL

6. MATERIALES UTILIZADOS

6.1. Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones de bases Hierro, que contienen Cromo, Carbono y otros elementos, principalmente Níquel, Molibdeno, Manganeso, Silicio y Titanio. El Cromo, que se encuentra en un porcentaje no inferior al 10%, le confiere la propiedad de ser mucho más resistente a la corrosión que lo que sería el Hierro sin la presencia de este aleante. Esta característica se debe a la pasivación de la aleación en un ambiente oxidante.

Son muy utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones de la industria, ya que además de ser resistentes a la corrosión tienen muy buenas propiedades mecánicas. Se clasifican en cinco familias diferentes; cuatro de ellas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta corresponde a aleaciones endurecidas por precipitación, basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina.

Los tratamientos térmicos en los inoxidables se realizan para producir cambios en las condiciones físicas, propiedades mecánicas, nivel de tensiones residuales y restaurar la máxima resistencia frente a la corrosión. Frecuentemente en el mismo tratamiento se logra una satisfactoria resistencia a la corrosión y óptimas propiedades mecánicas.

Los austeníticos y los superausteníticos tienen mayor resistencia a la corrosión que los ferríticos y martensíticos, porque los carburos de Cromo se descomponen y el Cr y el C permanecen en la solución sólida por enfriamiento rápido desde alta temperatura. Sin embargo si se enfría lentamente como en los procesos de soldadura, entre 870 y 600°C los carburos de Cromo precipitan en bordes de grano dejando pobre en Cr la zona vecina al borde, lo que facilita el fenómeno “corrosión intergranular”. Esto puede solucionarse bajando al mínimo el contenido en Carbono, o bien agregando Niobio o Titanio, ya que estos elementos tienen mayor tendencia a formar carburos que el Cromo, permitiéndole a este último permanecer en solución sólida en el hierro y así mantener su capacidad de resistencia a la corrosión.

Son aceros inoxidables con gran cantidad de Níquel (de 4 a 37%) para estabilizar la austenita. También pueden contener Molibdeno, Cobre, Silicio, Aluminio, Titanio y Niobio, que son elementos utilizados para conferir ciertas características.

Las principales características de los inoxidables austeníticos y superausteníticos en general, se deben a su estructura FCC, que le transfiere una gran ductilidad, conformabilidad, tenacidad y excelente resistencia al impacto, siendo materiales que se pueden endurecer por trabajo en frío. No así por tratamientos térmicos, ya que el Níquel estabiliza la austenita a temperatura ambiente.

La resistencia a la oxidación es muy superior a los otros tipos de aceros inoxidables por lo expuesto anteriormente, lo que favorece los procesos de soldadura que pueden realizarse perfectamente. Gracias a esto son muy utilizados para la fabricación de envases y cañerías para la industria química y petroquímica, donde la corrosión es una condición de servicios determinante.

Suelen ser no magnéticos y en algunos casos, cuando se trabajan en frío, pueden serlo. El conformado en frío es una vía para mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente el límite elástico, que es relativamente bajo frente al de otros materiales. Entonces, la reducción en sección o el trabajo en frío aumentan el valor del límite elástico y la tensión de rotura, mientras que disminuye la capacidad del acero al alargamiento.

6.1.1. AISI 304

Se trata de un acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Niquel y bajo contenido en Carbono. No es templable ni magnético y puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo: doblado, mecanizado, etc). Debido al crecimiento de su uso, se puede decir que el 304 se ha convertido en el acero inoxidable básico.

El AISI 304 tiene unas características muy parecidas al resto de aceros inoxidables austeníticos en cuanto a resistencia mecánica y es el que mejor relación calidad – precio tiene. Es por esta razón por la que la empresa utiliza este material para la realización de componentes estructurales de las máquinas de la zona de sulfato amónico.

Características

- Excelente formabilidad.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente resistencia al choque.
- Buena resistencia frente a la corrosión.

Usos y aplicaciones

- Ampliamente utilizados en la industria química, alimenticia, farmacéutica, petroquímica, etc.
- Intercambiadores de calor.
- Tuberías.
- Recipientes a presión.
- Conexiones con bridas.
- Válvulas.
- Condensadores.

6.1.2. AISI 316/316L/316TI

La 316 es una aleación de acero inoxidable con Níquel-Cromo y contenido en Molibdeno. Esta aportación incrementa su resistencia a la corrosión, mejorando su respuesta ante picaduras en entornos clorados, y le proporciona mayor dureza a elevadas temperaturas. Las propiedades son similares a las del grado 304, excepto que esta aleación es más resistente a elevadas temperaturas. La resistencia a la corrosión es mejor, particularmente frente al ácido sulfúrico, hidróclorhídrico, acético, fórmico y tartárico, sulfatados ácidos y alcalinos.

La versión 316L es una versión baja en Carbono del 316, que minimiza la precipitación de carburos perjudiciales generado por la soldadura. La aleación 316L es muy utilizada para soldaduras, donde su inmunidad a la precipitación de carburo por la soldadura asegura su resistencia a la corrosión.

La versión 316TI es una versión estabilizada con Titanio. La incorporación del Titanio logra mejorar la estabilidad de la estructura contra la precipitación de carburos de Cromo. Esta resistencia se consigue gracias a un tratamiento térmico intermedio, durante el cual el Titanio reacciona con el Carbono para formar carburos de Titanio. Estos reducen significativamente la sensibilización del material a la formación de carburos de Cromo. Así, esta aleación se puede utilizar durante largo tiempo a elevadas temperaturas sin comprometer su resistencia a la corrosión.

Características

- Mayor resistencia a la corrosión comparado con las aleaciones estándar de Níquel-Cromo.
- Excelente formabilidad.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente resistencia al choque.

Usos y aplicaciones

- Colectores de escape.
- Piezas de hornos.
- Intercambiadores de calor.
- Piezas de motor jet.
- Equipos farmacéuticos y fotográficos.
- Válvulas y bombas.
- Equipamiento químico.
- Lejiadoras, tanques, evaporadoras.
- Equipo para procesos de fabricación de pasta de papel, papel y textil.
- Piezas expuestas a entornos marinos.

6.1.3. Diferencias entre el AISI 304 y el AISI 316

La diferencia entre el acero inoxidable de grado 304 y el de grado 316 es que el 304 contiene un 18% de Cromo y un 8% de Níquel mientras que el 316 contiene un 16% de Cromo, un 10% de Níquel y un 2% de Molibdeno. Con la adición de Molibdeno al acero inoxidable 316, se mejora la resistencia a la corrosión, en particular a los cloruros (como el agua de mar y sales de deshielo). Esta protección superior frente a la corrosión es lo que distingue el AISI 316 del AISI 304.

6.1.4. AISI 2205

Los Dúplex son aleaciones austenítico-ferríticas cuyo límite elástico duplica al de los aceros austeníticos y una resistencia a la corrosión similar. Esto posibilita soportar mayores esfuerzos en el trabajo o una disminución del tamaño de los componentes, lo que implica un importante ahorro de material. Poseen una excelente tenacidad, superior al de los aceros ferríticos.

El Dúplex comparte la mayor parte de las propiedades de los aceros ferríticos y austeníticos. Gracias a su alto contenido en Cromo, Nitrógeno y Molibdeno, estos aceros ofrecen buena resistencia a la corrosión uniforme y localizada. La microestructura del Dúplex contribuye a su alta dureza y resistencia a la rotura por tensiones de corrosión. El Dúplex además ofrece una buena soldabilidad.

Características

- Alta resistencia.
- Buena a muy buena resistencia a la corrosión por fatiga bajo presión.
- Buena a muy buena resistencia a la corrosión uniforme.
- Buena resistencia a la erosión.
- Buena absorción de energía.
- Baja expansión térmica.
- Buena soldabilidad.

Usos y aplicaciones

- Intercambiadores de calor.
- Calentadores de agua.
- Recipientes a presión.
- Grandes tanques de almacenamiento.
- Rotores, hélices y ejes.
- Componentes para el diseño de estructuras.
- Cortafuegos y muros para plataformas en alta mar.
- Industria del papel y pulpa de papel.
- Tanques de carga y sistemas de tuberías con productos químicos.
- Plantas desaladoras.
- Desulfuración de gases de combustión.

6.2. Elastómeros

Los elastómeros son polímeros que cuentan con la particularidad de ser muy elásticos pudiendo incluso recuperar su forma luego de ser deformados. Debido a esta propiedad son el material base de otros materiales como el caucho (goma), ya sea natural o sintética, y para algunos productos adhesivos.

La mayoría de estos polímeros son hidrocarburos, por lo tanto, están conformados por Hidrógeno y Carbono, y se obtiene en forma natural del polisopreno que proviene del látex de la goma de los árboles. Otra manera de obtener un elastómero es a partir de la síntesis de petróleo y gas natural.

A modo más específico, un elastómero es un compuesto químico formado por miles de moléculas denominadas monómeros, los cuales se unen formando enormes cadenas. Es gracias a estas enormes cadenas que los primeros son elásticos ya que son flexibles y se encuentran entrelazadas de manera muy desordenada.

Cuando un elastómero es estirado, sus partículas se alinean, permitiendo que muchas veces tomen un aspecto cristalino. Sin embargo, una vez se suelta, rápidamente vuelve a su estado original. Esta característica distingue a los elastómeros de los polímeros plásticos.

Para poder darle un uso más práctico a los elastómeros, estos pueden ser sometidos a diversos tratamientos. A través de la aplicación de átomos de Azufre, este polímero se hace más resistente gracias a un proceso denominado vulcanización. Si además se le agrega otro tipo de sustancias químicas es posible lograr productos finales resistentes a las amenazas corrosivas presentes en el medio ambiente.

Características de los materiales elastómeros

- No se pueden derretir, antes de derretirse pasan a estado gaseoso.
- Se hinchan ante la presencia de ciertos solventes.
- Generalmente insolubles.
- Flexibles y elásticos.
- Menor resistencia al fenómeno de fluencia que los termoplásticos.



Imagen 134: Ejemplos de elastómeros.

6.2.1. NBR

El caucho nitrilo, también denominado Buna-N, Perbunan o NBR, pertenece a la familia de los elastómeros y es un copolímero de caucho sintético formado por acrilonitrilo (ACN) y butadieno. Constituye una familia de copolímeros insaturados de 2-propanonitrilo y diversos monómeros de butadieno (1,2-butadieno y 1,3-butadieno). Aunque sus propiedades físicas y químicas presentan diferencias en función del contenido en nitrilo del polímero, esta forma de caucho sintético suele ser resistente al aceite, al combustible y a otras sustancias químicas (a mayor contenido en nitrilo del polímero, mayor resistencia a aceites, pero menor flexibilidad del material). El caucho de nitrilo es más resistencia a ácidos que el caucho natural pero su resistencia y flexibilidad es menor.

Características

- Es el sustituto del caucho natural.
- Soporta temperaturas de -40°C a 120°C .
- Su capacidad de recuperación (resiliencia) hace del NBR un material útil para las industrias.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Buena resistencia a los solventes.
- Buena resistencia a la flexión.
- Se proveen distintos grados.

Usos y aplicaciones

- Industria automotriz/aeronáutica/nuclear/petroquímica, etc.
- Mangueras para combustible.
- Mangueras para manipulación de hidrocarburos.
- Sellos automotrices.
- Guantes de protección.
- Productos moldeados.
- Adhesivos/selladores.
- Esponjas.
- Alfombras de piso.
- Guantes de laboratorio desechables.
- Guantes de limpieza.
- Guantes de examinación médica.
- Aglutinante de pigmentos.

6.2.2. FPM

El FPM es uno de los elastómeros con mayor resistencia en diferentes aplicaciones. También denominado Viton, es un termopolímero de hexafluoropropileno y fluoruro de vinilideno denominado comúnmente caucho fluorado. Tiene mejores características comprobadas de resistencia a los fluidos que los demás cauchos comerciales.

Características

- Muy buena resistencia mecánica.
- Buena resistencia al calor y a la llama.
- Buena resistencia a la abrasión y al envejecimiento.
- Excelente resistencia a los derivados del petróleo.
- Excelente resistencia a disolventes alifáticos, aromáticos, cloros, detergentes ácidos fuertes, ácidos oxidantes y ácidos diluidos.

Usos y aplicaciones

- Fabricación de juntas toricas, retenes, válvulas, guarniciones, diafragmas, juntas, planchas, recubrimientos de telas y cables.
- Fabricación de equipos de buceo.
- Fabricación de mangueras para transporte de combustible, etc.

6.2.3. PTFE

El politetrafluoroetileno, habitualmente conocido por el nombre comercial Teflon, es un polímero similar al polietileno en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de flúor. Como su propio nombre indica es un polímero compuesto por monómeros de tetrafluoretileno que rompen su doble enlace para unirse.

Características

- Capaz de soportar grandes diferencias de temperatura.
- Prácticamente inerte, no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales.
- Muy bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad.
- Mantiene sus cualidades en ambientes húmedos.
- Gran capacidad aislante y resistencia a la temperatura.
- Capacidad de rozamiento baja y facilidad de limpieza.
- Antiadherente.
- Muy flexible.

Usos y aplicaciones

- Revestimientos de aviones, cohetes y naves espaciales.
- Elementos articulados.
- En medicina se utiliza para prótesis, creación de tejidos artificiales y vasos sanguíneos, operaciones estéticas (body piercing), etc.
- Revestimiento de cables o dieléctrico de condensadores.
- En utensilios de cocina como sartenes y ollas.
- En pinturas y barnices.
- En estructuras y elementos sometidos a ambientes corrosivos, así como en mangueras y conductos por los que circulan productos químicos.
- Como recubrimiento de balas perforantes.
- Como hilo para coser productos expuestos continuamente a agentes atmosféricos o químicos.
- En odontología como aislante, separador y mantenedor del espacio interproximal durante procedimientos de estética o reconstrucciones con resinas compuestas o composite.
- En tacos de sillas y en ratones de ordenador.

7. PINTURA LINE-X

LINE-X está formado por poliuretanos elastómeros pulverizados de alto rendimiento. No contiene compuestos orgánicos volátiles (VOC) y es 100% sólido. Ofrece un rendimiento excepcional a base de capas protectoras de elastómeros para superficies. Su formulación de alto rendimiento produce una película protectora excelente para la resistencia química y como barrera de protección de la humedad, entre otros.

Características

- Excelente resistencia a la abrasión y corrosión de diferentes productos químicos (entre ellos el Sulfato Amónico).
- Permanece flexible desde los -40°C hasta los 160°C.
- Impermeable 100%: evita filtraciones y de líquidos.
- Aplicable a todo tipo de superficies: metal, fibra de vidrio, madera, etc.
- Adaptabilidad total a la superficie a recubrir.
- No se desprende, ni se agrieta, ni se descama.
- No requiere de mantenimiento alguno.

Usos y aplicaciones

- Tamización y decoración.
- Recubrimientos de protección para mantener estructuras y sistemas en inmejorables condiciones en industria cerámica, construcción, industria química, minería, sector petróleo, industria del transporte, puertos, etc.
- Protección de los vehículos (remolques, rampas, vehículos sanitarios, vehículos de brigadas, etc.) ante la humedad, golpes, corrosión y óxido.
- Seguridad y defensa: protección contra explosivos, protección balística, protección contra deflagración, protección contra la humedad y productos químicos.



Imagen135: Recubrimiento Line-X.

8. ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA

8.1. Soldadura de materiales iguales.

Para la soldadura del acero inoxidable 304 con acero inoxidable 304 se utilizarán electrodos AWS A5.4 E316L 17.



ELECTRODO 316 L ESAB (Kg)

600556 ELECTRODO 316L ESAB 3/32 (Kg)

600557 ELECTRODO 316L ESAB 1/8 (Kg)

600558 ELECTRODO 316L ESAB 5/32 (Kg)

Imprimir

Más

316 OK

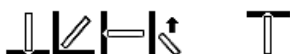
SMAW

Tipo: ácido-rutilo

Electrodo de acero inoxidable Extra bajo en carbono para la soldadura de aceros del tipo 18Cr12Ni2.8Mo. También es adecuado para la soldadura de aceros estabilizados de composición similar.

corriente de soldadura :

AC, DC + OCV 50 V



Especificaciones:

Classifications	Approvals	Typical all weld metal composition, %		Typical mech. properties all weld metal	
SFA/AWS A5.4		C	<0,03	Yield stress, MPa	
E316L-17		Si	0,7	435	
JIS Z3221		Mn	0,9	Tensile strength, MPa	
D316L-16		Cr	18,0	580	
		Ni	12,0	Elongation, %	
		Mo	2,8	40	
		Cu	<0,2	Elongation, %	
				40	
				Ferrite content	
				FN 3-10	
				Charpy V	
				Test temps, °C	Impact values, J
				+20	60
				-125	>32

Imagen 136: Características del electrodo E316L17 del fabricante ESAB.

8.2. Soldadura de materiales disímiles.

Para la soldadura del acero inoxidable 316 del eje del sin fin con el dúplex AISI 2205 de las puntas del eje se utilizarán electrodos AWS A5.4 E309L Mo17.

INDURA 309L - AWS E-309L-16

Descripción:

El electrodo 309L posee un revestimiento rutilico, lo que lo hace apto para soldar con CA o CC, electrodo positivo. Este electrodo se caracteriza por un arco estable de transferencia spray y cuyo depósito es de excelente forma y apariencia. La escoria se desprende fácilmente, además de tener muy buena reanudación de arco por lo que se aconseja usarlo en soldaduras intermitentes. El depósito es de acero inoxidable austenítico.

Características:

- Electrodo para aceros inoxidables austeníticos
- Revestimiento rutilico. Color blanco
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna (CCEP, CA)

Usos:

El electrodo 309L ha sido diseñado principalmente para soldar aceros inoxidables tipo 309L y 309Cb. Su depósito tiene excelente resistencia a la corrosión a temperatura ambiente, pero primordialmente fue diseñado para resistir la oxidación a altas temperaturas (1.000°C). Tiene excelente resistencia al creep (1).

Aplicaciones Típicas:

- Aceros AISI 309, 309L, 309Cb, 304, 304L, 321 y 347
- Aceros disímiles
- Acero al 12% Ni



COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DEPOSITADO	
C	0,02%
Mn	0,69%
Si	0,80%
P	0,022%
S	0,009%
Cr	22,5%
Ni	13,4%
Mo	0,16%

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Resistencia a la Tracción	550 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	42%

Imagen 137: Características del electrodo 309L de la marca INDURA.

9. DESIGNACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Designación de los Aceros Inoxidables según la normativa EN 10088 y su equivalencia en las distintas normativas.

EN 10088	AISI	ASTM UNS									
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Otros
1,4301	304	S30400	<0,07	<1,0	<2,00	<0,045	<0,015	17,0-19,5	-	8,0-10,5	-
1,4306	304L	S30403	<0,03	<1,0	<2,0	<0,045	<0,015	18,0-20,0	-	10,0-12,0	-
1,4401	316	S31600	<0,07	<1,0	<2,0	<0,045	<0,015	16,5-18,5	-	10,0-13,0	-
1,4404	316L	S31603	<0,03	<1,0	<2,0	<0,045	<0,015	16,5-18,5	-	10,0-13,0	-
1,4571	316Ti	S31635	<0,08	<1,0	<2,0	<0,045	<0,015	16,5-18,5	2,0-2,5	10,5-13,5	Ti(5x%C)
1,4462	2205	S31803	<0,030	<1,0	<2,0	<0,035	<0,015	21,0-23,0	3,0-3,50	4,50-6,50	N(0,14-0,20)

Tabla 55: Designación y composición química de los aceros inoxidables.

ANEXO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	247
2. GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL	247
3. GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA.....	248
4. BENEFICIOS.....	248
5. INVERSIÓN ESTIMADA.....	249
6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	250
6.1. Resultados	250
6.2. Periodo de retorno de la inversión	250
6.3. Análisis del flujo de caja.	250
7. CONCLUSIÓN	251

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se va a someter a estudio la viabilidad del proyecto, es decir, el tiempo de recuperación de la inversión que se va a realizar para la ejecución del proyecto. El tiempo de recuperación de la inversión no deberá ser mayor a dos años, por tanto, el proyecto será viable si la inversión se recupera antes de dos años.

Para estudiar la viabilidad del proyecto se va a tener en cuenta la inversión realizada, los gastos de mantenimiento que presentaba la instalación anterior y los gastos de mantenimiento que presentará la instalación mejorada. Con todo esto se hará un balance si se extraerá si el proyecto es viable o no.

2. GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN ACTUAL

En este apartado se expondrán los gastos de mantenimiento aproximados de la instalación actual. Los gastos son los siguientes:

1) Coste de la mano de obra mantenimiento.....1.134,00€/año

- 4 operarios (mecánico) x 4h/reparación x 2reparaciones/año x 22€/hora
- 1 operario (tornero) x 10h/reparación x 1reparaciones/año x 35€/hora
- 1 operario (electromecánico) x 2h/reparación x 1reparaciones/año x 40€/hora

2) Coste de repuestos.....3.834,00€/año

- Sustitución semestral de los rodamientos del motor
- Saneamiento anual del motor y la reductora
- Sustitución anual de los rodamientos del motor y la reductora
- Pintar anualmente motor y reductora
- Sustitución de los muñones cada 2 años
- Sustitución de la estrella del acoplamiento semestral
- Sustitución del acoplamiento cada dos años
- Sustitución de componentes eléctricos

3) Coste de la potencia consumida.....6.595,58€/año

- 2motores x 2,689KW/h x 0,14€/KW x 24h/1día x 365dias/año

TOTAL.....11.563,58€/año

3. GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN PROPUESTA

En este apartado se exponen los gastos de mantenimiento previstos de la futura instalación:

1) Coste de la mano de obra mantenimiento.....432,00€/año

- 4 operarios x 2h/reparación x 2 reparaciones/año x 22€/hora
- 1 operario (electromecánico) x 2h/reparación x 1 reparaciones/año x 40€/hora

2) Coste repuestos.....469,31€/año

- Sustitución de retenes y estopas cada seis meses
- Sustitución de rodamientos y cajas cada tres años
- Sanear motor y reductora cada tres años (acondicionar y pintar)

3) Coste de la potencia consumida.....3.664,48€/año

- 1 motor x 2,988KW/h x 0,14€/KW x 24h/1 día x 365 días/año

TOTAL.....4.565,79€/año

4. BENEFICIOS

Si se comparan los gastos de mantenimiento de la instalación actual con los previstos para la futura instalación se obtienen los siguientes beneficios:

1) Reducción coste mano de obra mantenimiento.....702,00€/año

2) Reducción del coste de repuestos/componentes dañados.....3.364,69€/año

3) Reducción de consumo eléctrico2.931,10€/año

TOTAL.....6.997,79€/año

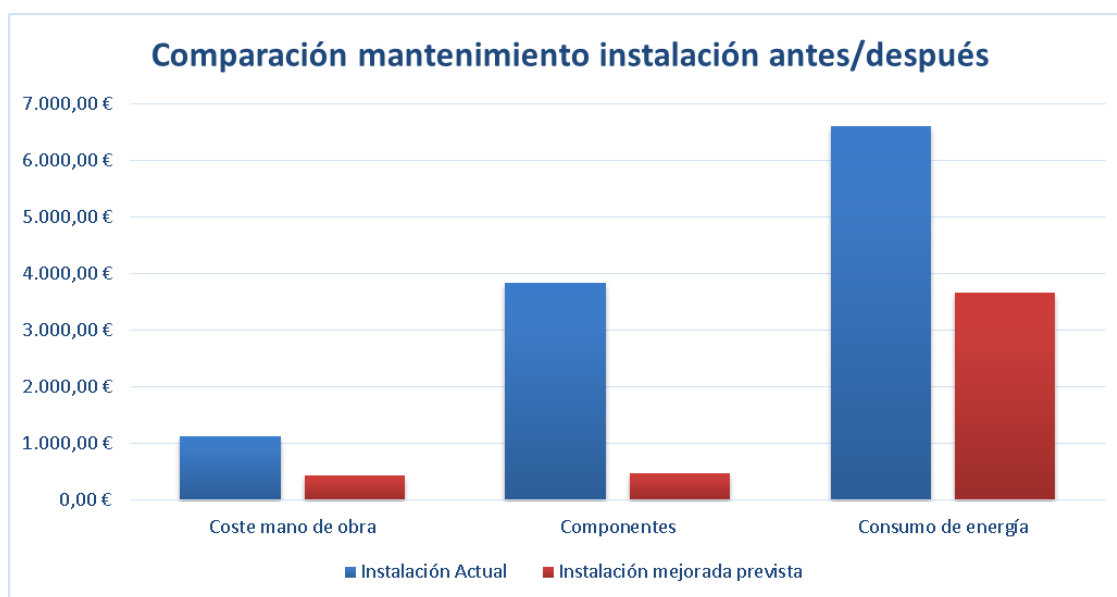


Gráfico 2: Comparación de gastos de mantenimiento antes / después.

5. INVERSIÓN ESTIMADA

Como se puede observar en el anexo de mediciones y presupuestos el coste estimado de la ejecución del proyecto asciende a 11.392,76€

6. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

6.1. Resultados

Beneficios totales por año.....	6.997,79 €
Beneficios totales en dos años.....	13.995,58 €
Inversiones totales para la construcción de la nueva instalación.....	11.392,76 €
Diferencia entre beneficios e inversiones en dos años.....	2.602,82 €

6.2. Periodo de retorno de la inversión

El periodo de retorno de la inversión del presente proyecto es el siguiente:

$$PR = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Beneficio promedio anual}} = \frac{11392,76}{6997,79} = 1,63 \text{ años}$$

6.3. Análisis del flujo de caja.

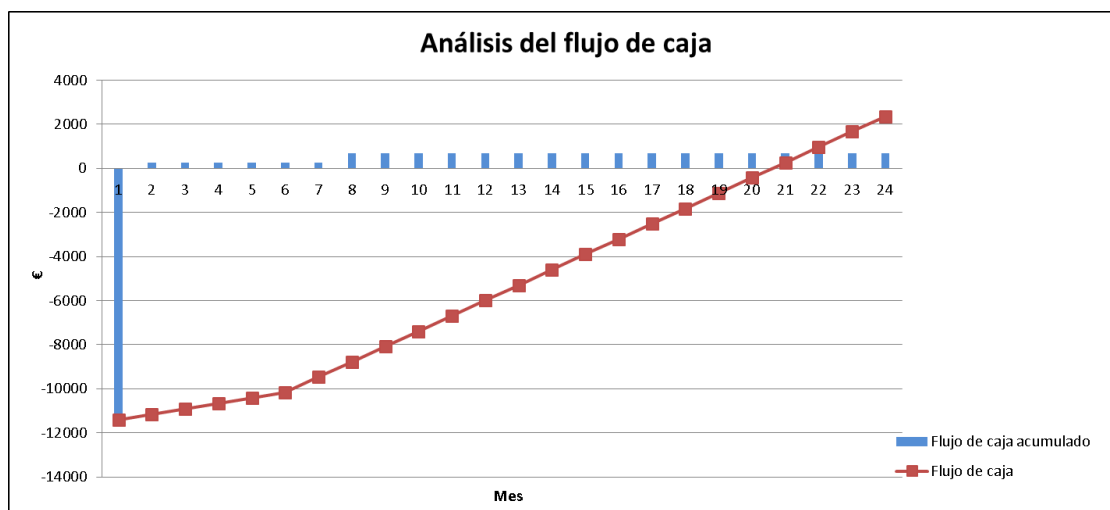


Gráfico 3: Evolución del flujo de caja en 24 meses.

Para el cálculo del flujo de caja se ha tenido en cuenta que los 6 primeros meses solo se obtienen beneficios del consumo eléctrico (la instalación propuesta tiene un solo motor), ya que la instalación actual aguanta 6 meses sin mantenimiento. A partir del sexto mes se obtienen beneficios tanto de consumo eléctrico como de componentes.

Mes	Año	Inversión		FC
Octubre	2016	11.392,76 €	244,26 €	- 11.148,50 €
Noviembre	2016		244,26 €	- 10.904,24 €
Diciembre	2016		244,26 €	- 10.659,98 €
Enero	2017		244,26 €	- 10.415,72 €
Febrero	2017		244,26 €	- 10.171,46 €
Marzo	2017		244,26 €	- 9.927,20 €
Abril	2017		696,11 €	- 9.231,09 €
Mayo	2017		696,11 €	- 8.534,98 €
Junio	2017		696,11 €	- 7.838,87 €
Julio	2017		696,11 €	- 7.142,76 €
Agosto	2017		696,11 €	- 6.446,65 €
Septiembre	2017		696,11 €	- 5.750,54 €
Octubre	2017		696,11 €	- 5.054,43 €
Noviembre	2017		696,11 €	- 4.358,32 €
Diciembre	2017		696,11 €	- 3.662,21 €
Enero	2018		696,11 €	- 2.966,10 €
Febrero	2018		696,11 €	- 2.269,99 €
Marzo	2018		696,11 €	- 1.573,88 €
Abril	2018		696,11 €	- 877,77 €
Mayo	2018		696,11 €	- 181,66 €
Junio	2018		696,11 €	514,45 €
Julio	2018		696,11 €	1.210,56 €
Agosto	2018		696,11 €	1.906,67 €
Septiembre	2018		696,11 €	2.602,78 €

Tabla 56: Flujo de caja de los primeros 24 meses.

7. CONCLUSIÓN

Como se ha podido observar en los diferentes puntos del presente anexo, se cumple la premisa que dicta la compañía de que un proyecto para ser aprobado debe ser amortizable en dos años. Por tanto, se puede concluir que el presente proyecto es viable para la empresa.

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

1. OBJETIVO DEL PLIEGO	257
2. CONDICIONES GENERALES	257
2.1. Normativa aplicable	257
2.2. Condiciones facultativas.....	258
2.2.1. Autoridad del ingeniero técnico director de obra.....	258
2.2.2. Subcontratos	258
2.2.3. Requisitos mínimos	258
2.2.4. Omisiones.....	258
2.2.5. Responsabilidades.....	258
2.3. Condiciones económicas	259
2.3.1. Valoración del proyecto	259
2.3.2. Pagos	259
2.3.3. Adjudicación y cláusulas del contrato	259
2.3.4. Rescisión del contrato	259
2.3.5. Liquidación en caso de rescisión	259
2.3.6. Fianza.....	260
2.3.7. Revisión de precios.....	260
3. CONDICIONES PARTICULARES.....	260
3.1. Condiciones de ejecución y montaje.....	260
3.1.1. Duración	260
3.1.2. Indemnización por el retraso de los trabajos.....	260
3.1.3. Niveles de producción y capacidad	260
3.1.4. Montaje	260
3.2. Condiciones de materiales y equipos.....	261
3.2.1. Sobre los materiales	261
3.3. Normas de seguridad en planta	262
3.3.1. Entrada de personas a la planta para realizar un trabajo	262
3.3.2. Entrada de vehículos	262
3.3.3. Tráfico.....	262
3.3.4. Restricciones de fumar.....	263
3.3.5. Objetos no permitidos en planta	263
3.3.6. Prohibición de filmar o fotografiar	263
3.3.7. Equipos de la planta	263

3.3.8. Herramientas en general.....	263
3.3.9. Herramientas eléctricas	264
3.3.10. Notificación de accidentes e incidentes.....	264
3.3.11. Permisos de trabajo	264
3.3.12. Faltas	264
3.3.13. Sanciones.....	266

1. OBJETIVO DEL PLIEGO

El objetivo del siguiente pliego de condiciones técnicas, que será de aplicación en el presente proyecto, constituye el conjunto de instrucciones, normas, especificaciones y seguridad e higiene en el trabajo, que se deben respetar en la ejecución de la modificación del equipo por ambas partes implicadas, empresa en la que se realiza el proyecto y empresa ejecutora del proyecto.

2. CONDICIONES GENERALES

2.1. Normativa aplicable

- Legislación sobre seguridad e higiene en el lugar de trabajo.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL).
- RD 39/1997, de 17 de enero de Prevención de Riesgos laborales.
- RD 486/1997, de 14 de Abril de Seguridad en el Lugar de Trabajo.
- RD 1435/1992, de 27 de noviembre de la Seguridad de Máquinas.
- RD 614/2001, de 8 de junio de la Protección de riesgos eléctricos.
- RD 773/1997, de 30 de mayo para la utilización de equipos de protección individual.
- RD 374/2001, de 6 de abril para la protección de riesgos químicos.
- RD 664/1997, de 12 de mayo para la protección de riesgos biológicos.
- UNE-EN ISO 544:2004 de Consumibles para soldeo. Condiciones técnicas de suministro para materiales de aportación para soldeo. Tipos de producto, medidas, tolerancias y marcado.
- El contratista queda obligado a cumplir todo lo estipulado en todas las leyes de reglamento de carácter oficial, así como a las demás leyes y disposiciones vigentes que sean de aplicación durante los trabajos.
- En caso de coincidir alguna de las normas en algún ámbito se aplicará la que sea más restrictiva.
- Normativa interna de la empresa.

2.2. Condiciones facultativas

2.2.1. Autoridad del ingeniero técnico director de obra

La figura del ingeniero técnico director estará encamada por una persona capaz de interpretar y hacer ejecutar correctamente el contenido del proyecto, pudiendo ser el mismo ingeniero técnico proyectista. El ingeniero técnico director de la obra, resolverá cualquier cuestión que surja referente a la calidad de los materiales empleados, interpretación de planos, especificaciones, y en general, todos los problemas que se planteen durante la ejecución de los trabajos referentes al presente proyecto.

2.2.2. Subcontratos

Ninguna parte de la obra podrá ser subcontratada sin el consentimiento previo del ingeniero técnico director. Las solicitudes para ceder cualquier parte del contrato deberán formularse por escrito y acompañarse con un documento que acredite que la organización que ha de encargarse de los trabajos que han de ser objeto de subcontrato está particularmente capacitada y equipada para su ejecución. La aceptación del subcontrato no relevará a la actual empresa encargada de la ejecución del proyecto de su responsabilidad contractual.

2.2.3. Requisitos mínimos

El operario encargado del montaje del proyecto debe tener un título igual, equivalente, o superior a los nombrados a continuación:

- Técnico superior de mantenimiento.
- Técnico superior de mantenimiento electromecánico de maquinaria.
- Técnico superior de mecatrónica industrial.
- Técnico superior de desarrollo de proyectos.

2.2.4. Omisiones

Las omisiones en los cálculos, pliego de condiciones o descripciones erróneas de los detalles fundamentales de la modificación, que sean indispensables para lograr el objetivo propuesto en los citados documentos, eximirán a los ejecutores del proyecto de la obligación de ejecutar los trabajos omitidos o erróneamente descritos, siendo el ingeniero técnico director de la obra, el responsable de la subsanación inmediata de dichos errores. De la misma forma, el ejecutor de la obra deberá aplicar las instrucciones técnicas recogidas en el presente proyecto, exigiendo al ingeniero técnico proyectista de cualquier responsabilidad que pudiera derivarse del incumplimiento de alguna de ellas.

2.2.5. Responsabilidades

El ingeniero técnico proyectista queda responsable de todos los daños que pudieran darse de un mal diseño o cálculo de cualquier pieza.

2.3. Condiciones económicas

2.3.1. Valoración del proyecto

La valoración del proyecto se encuentra en el anexo “Índice de Mediciones” del presente proyecto.

2.3.2. Pagos

Los pagos se efectuarán por la empresa en los plazos previamente establecidos en el contrato y su importe dependerá de que el director técnico del proyecto certifique que se ha realizado el proyecto según lo establecido.

2.3.3. Adjudicación y cláusulas del contrato

Los contratos se adjudicarán en general en forma privada. El cuerpo de estos documentos contará con una cláusula en la que se exprese terminantemente que el contratista está conforme con el pliego de condiciones particulares que ha de regir su trabajo.

2.3.4. Rescisión del contrato

Se considerará causas suficientes de rescisión del contrato las que a continuación se señalan:

- La muerte o incapacidad del contratista.
- La quiebra del mismo.
- Las alteraciones del contrato por las siguientes causas:
 - La modificación del proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio de la dirección técnica, y en cualquier caso siempre que la variación de presupuesto de ejecución como consecuencia de estas variaciones, represente más o menos el 25 % del importe total de aquel.
 - El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del presente proyecto.
 - El abandono de la ejecución sin causa justificada a juicio de la dirección técnica.
 - La mala fe en la ejecución de los trabajos a juicio de la dirección técnica

2.3.5. Liquidación en caso de rescisión

En caso de querer rescindir el contrato por cualquiera de las dos partes, la empresa o la subcontrata, se abonará a la empresa el proyecto y el material adquirido para el desarrollo. Si se produce la rescisión del contrato, esto llevará implícito la retención de la fianza para los gastos de diseño y derivados del trabajo realizado hasta el momento.

2.3.6. Fianza

En el contrato se deberá fijar la fianza que la empresa debe disponer como garantía del cumplimiento del propio contrato. De no estipularse la fianza en el contrato, se entiende que se adoptará como garantía un 50% del coste total del proyecto.

2.3.7. Revisión de precios

En el contrato se estipulará si el cliente tiene derecho a revisión de precios y la manera de aplicarlos. En defecto de esta última, se aplicará a juicio del director técnico según criterios oficiales.

3. CONDICIONES PARTICULARES

3.1. Condiciones de ejecución y montaje

3.1.1. Duración

La duración del montaje de la máquina en su lugar de trabajo se realizará aprovechando la parada general de la planta de la tercera semana de septiembre del presente año. El montaje y prueba se realizará en un periodo de cuatro días, tiempo que se ha determinado de acuerdo con los requerimientos de la empresa y capacidades del contratista. Este tiempo de montaje se podrá prorrogar en dos días a partir del último día estipulado en la firma del contrato, quedando los gastos del personal a cargo del contratista.

3.1.2. Indemnización por el retraso de los trabajos

Si por motivos ajenos a la empresa UBE, la ejecución del proyecto se retrasara más de los dos días de prórroga, el director técnico podrá establecer multas al contratista, de acuerdo con el contrato firmado entre ambos.

3.1.3. Niveles de producción y capacidad

El equipo ha sido rediseñado para un funcionamiento de veinticuatro horas al día los trescientos sesenta y cinco días del año. Está capacitado para el trasiego de 28000kg/h de sulfato amónico. Cualquier modificación en el producto de trasiego o en el caudal, que tenga como consecuencia un sobreesfuerzo del equipo, eximirán de cualquier responsabilidad al ingeniero proyectista.

3.1.4. Montaje

El montaje de la instalación se realizará conforme a lo establecido en los diferentes apartados de este proyecto y siguiendo las órdenes del ingeniero técnico director.

3.2. Condiciones de materiales y equipos

3.2.1. Sobre los materiales

- Todos los materiales y equipos a instalar serán nuevos y vendrán provistos de su correspondiente certificado de calidad, para las características y condiciones de utilización.
- El nivel de calidad mínimo del material de las diferentes piezas será el especificado en los diferentes apartados del presente proyecto.
- Los materiales y/o equipos defectuosos o que resulten averiados en el transcurso de la obra, serán sustituidos o reparados de forma satisfactoria para la dirección de la obra.
- Todos los materiales utilizados en la fabricación han de ser de absoluta garantía.
- La manipulación de las piezas se hará con el mayor cuidado posible, no desembalando hasta el instante de ser utilizadas, comprobando si han sufrido algún desperfecto, en cuyo caso la pieza será examinada por el ingeniero técnico director de la obra, que decidirá si es apta o no para su montaje.
- Tanto la grasa que se utilice para el engrase de los rodamientos, como el aceite utilizado en la reductora, será de primera calidad y sin mezclas de ningún tipo.
- Todos los materiales de cada una de las piezas deberán corresponderse en su composición y propiedades con los citados en el presente proyecto en el anexo.
- Cualquier material utilizado en el proyecto podrá ser sometido a examen por la dirección técnica. Si los resultados de los ensayos no corresponden a los del material declarado serán rechazados.

3.3. Normas de seguridad en planta

3.3.1. Entrada de personas a la planta para realizar un trabajo

Los requisitos de seguridad para trabajar en la planta son:

- Declaración de aptitud médica para el trabajo a realizar (apto).
- Justificación de haber recibido la inducción de seguridad sobre los riesgos específicos de la empresa y superado el correspondiente test de comprobación de entendimiento de dichos riesgos.
- Impresos TC1 y TC2, o alta en la seguridad social o recibo de autónomos.

Las personas que vayan a realizar un trabajo por primera vez deberán ir acompañadas por el supervisor del trabajo o en caso de que no pueda personalmente les acompañará la persona en quien haya delegado. Esta persona será responsable de conseguirles los permisos de trabajo necesarios.

3.3.2. Entrada de vehículos

Para entrar con un vehículo a la planta es necesario un permiso que se obtendrá en la portería principal. Queda terminantemente prohibido introducirse con el vehículo dentro de la planta si haber obtenido previamente el permiso.

3.3.3. Tráfico

3.3.3.1. Vehículos

- Llevarán en lugar visible la tarjeta de identificación
- Se seguirán las normas de circulación, incluyendo el uso del cinturón de seguridad y el respeto a las señales de tráfico. La velocidad máxima de circulación será de 30km/h.
- No se estacionarán los vehículos delante de los equipos de lucha contra incendios.
- Todas las calles y avenidas deben quedar abiertas en todo momento.
- No se permite el paso de motos a la planta.
- Los conductores de vehículos especiales deberán estar permanentemente localizables, en caso de que se alejen de dicho vehículo.
- Los conductores de materias peligrosas no podrán abandonar dicho vehículo.
- Los vehículos estacionados en planta deberán permanecer abiertos y con las llaves puestas.

3.3.3.2. Bicicletas

- Se transitará de una en una, nunca en paralelo ni se circulará por la derecha.
- Se estacionarán de forma procedente y tal que no dificulte la utilización de equipos de seguridad.
- Deben estar desprovistas de luces-dinamos y deberán llevar los catadióptricos retrorreflectantes adecuados y estar en buenas condiciones de uso.

3.3.3.3. Peatones

- Deberán transitar por su izquierda
- No se reunirán en los centros de calles
- No se transitará por debajo de cargas suspendidas
- No se correrá sin motivo, por la alarma innecesaria que se crea.
- Cuando se utilicen escaleras, se subirá o bajará de cara a las mismas y con ambas manos libres para asirse a los pasamanos.
- Queda terminantemente prohibido dormir en la planta.

3.3.4. Restricciones de fumar

Queda terminantemente prohibido fumar y/o encender fuego en la planta fuera de las zonas de fumadero indicadas.

3.3.5. Objetos no permitidos en planta

Está prohibida la introducción en planta de cámaras, teléfonos móviles, videos, radios, emisoras, linternas, baterías y en general cualquier aparato electrónico, salvo que estén previamente autorizados por protección de planta y dispongan del permiso.

3.3.6. Prohibición de filmar o fotografiar

Por motivos de seguridad y para proteger el secreto industrial de las instalaciones, está prohibido filmar o fotografiar sin permiso de trabajo y autorización escrita de protección de planta.

3.3.7. Equipos de la planta

- Queda prohibido manipular cualquier equipo de la planta tal como: válvulas, pulsadores, interruptores, hidrantes, venteos, tomas de agua, aire, vapor...
- Si se necesita hacer alguna maniobra en los equipos o utilizarlos, es necesario obtener previamente el permiso de trabajo.
- No tocar nunca un disco ciego sin autorización expresa del Jefe de turno/operador jefe para ello.

3.3.8. Herramientas en general

- Utilice sólo herramientas en buen estado.
- Utilice la herramienta adecuada para cada trabajo.
- Cuando se trabaje a altura las herramientas deben estar atadas.
- Las herramientas que sean propiedad de la empresa, en caso de necesidad, se podrán solicitar al supervisor de la planta, y firmar un documento asumiendo el operario que conoce su manejo y que la herramienta se encuentra en perfectas condiciones de uso.

3.3.9. Herramientas eléctricas

- Antes de su uso, asegurarse del perfecto estado de la máquina, clavijas, cables de alimentación, etc.
- Operar únicamente sobre los mandos. No alterar ni modificar los dispositivos de seguridad. Respetar la señalización.
- Desconectar inmediatamente en caso de fallo o avería.
- No hacer reparaciones en equipos eléctricos si no se trata de un especialista.
- No operar con aparatos eléctricos mojados o húmedos (no utilizar las herramientas eléctricas portátiles con lluvia).
- Informar inmediatamente de las anomalías encontradas.

3.3.10. Notificación de accidentes e incidentes

Es obligatorio informar inmediatamente a un encargado o a un supervisor de la empresa o mediante anotación en el libro de incidentes de cualquier incidente que pueda ocurrir (aunque no se hayan producido daños materiales o personales). El análisis del mismo permitirá a la empresa obtener las lecciones aprendidas necesarias que con su aplicación evitarán la recurrencia del incidente/accidente y, con ello, los daños personales, al medio ambiente y a las instalaciones.

3.3.11. Permisos de trabajo

Nunca se comenzará un trabajo sin obtener previamente el correspondiente permiso de trabajo

3.3.12. Faltas

Las infracciones a las normas establecidas se clasifican como faltas, que atendiendo a su graduación podrán ser: leves, graves o muy graves.

- Faltas leves:

- Mal uso o descuido intencionado en la conservación del material o en las pendas facilitadas por la empresa.
- La inobservancia de las normas elementales de educación respecto a empleados de la empresa, supervisores, así como a compañeros y/o demás trabajadores en general.
- Aparcar en lugares no autorizados dentro del recinto de la planta.
- No llevar tarjeta de identificación.
- No realizar la correspondiente segregación de los residuos y no depositarlos en un lugar adecuado.
- No informar u ocultar un incidente leve.
- Las infracciones de las normas de seguridad, salud y medio ambiente cuando no se derive riesgo o perjuicio para las instalaciones de la empresa, o riesgo de accidente para el autor o para cualquier otra persona.
- La complicidad o encubrimiento de faltas leves.

- Faltas graves:

- Las infracciones de las normas de seguridad, salud y medio ambiente cuando se derive riesgo o perjuicio grave para las instalaciones de la empresa, o riesgo de accidente para el autor o para cualquier otra persona.
- La desobediencia a empleados de la empresa en materia de seguridad, salud o medio ambiente y en general a sus supervisores.
- No informar u ocultar un incidente grave.
- La pérdida o falta grave de cuidado en la utilización de las prendas, máquinas, herramientas o utensilios facilitados por la empresa, o la utilización de aquellos que sabiendo que no están en buenas condiciones de funcionamiento y sin haber dado cuenta de ello a quien corresponda.
- No respetar las señales de tráfico existentes en planta.
- La reiteración de la comisión de faltas leves.
- La complicidad o encubrimiento de faltas graves.

- Faltas muy graves:

- Las infracciones de las normas de seguridad, salud y medio ambiente cuando se derive riesgo o perjuicio muy grave para las instalaciones de la empresa, o riesgo de accidente para el autor o para cualquier otra persona.
- La desobediencia a empleados de la empresa en materia de seguridad, salud o medio ambiente, cuando se derive riesgo o perjuicio para las instalaciones de la empresa o riesgo de accidente para el autor o para cualquier otra persona.
- Originar riñas, pependencias o proferir amenazas a empleados de la empresa, supervisores y/o compañeros u otros trabajadores en general.
- Simular accidentes de trabajo para amparar lesiones sufridas fuera del mismo.
- Fumar en las zonas en que esté prohibido por razones de seguridad.
- No informar u ocultar un accidente laboral.
- Malos tratos de palabra u obra a los empleados de la empresa, supervisores y/o compañeros u otros trabajadores en general, así como la falta de respeto y la consideración debidos tanto a unos como a otros.
- Conducción temeraria y/o exceso de velocidad, así como no respetar las señales de tráfico cuando de ello se pueda derivar daño a las personas y/o instalaciones.
- Consumir bebidas alcohólicas/drogas dentro de la planta o tratar de introducirlas.
- Cualquier delito contra la propiedad cometido en las instalaciones de la empresa.
- La reiteración de faltas graves.
- La complicidad o encubrimiento de faltas muy graves.
- La toma de imágenes de las instalaciones por cualquier medio (teléfono móvil, cámara de fotos, video...) es motivo de expulsión.

3.3.13. Sanciones

Las faltas numeradas anteriormente se sancionarán atendiendo a la mayor o menor peligrosidad, malicia, repercusión y demás circunstancias que concurren, según la valoración de seguridad de la empresa con los siguientes tipos de sanciones para toda clase de ellas:

- Por faltas leves:

- Amonestación privada por escrito al trabajador.
- Multa de 60 a 600 euros a la empresa contratista.

- Por faltas graves:

- Amonestación privada por escrito, advirtiendo que otra falta grave en los 6 meses siguientes supondría la retirada definitiva de la tarjeta de acceso a la planta.
- Multa de 600 a 3000 euros.

- Por faltas muy graves:

- Retirada de la tarjeta de acceso de forma definitiva.
- Multa de 3000 a 15000 euros.

La sanción de las faltas requerirá comunicación escrita con acuse de recibo al trabajador por parte de su empresa, haciendo constar la fecha y los hechos que la motivan y dando cuenta también a la supervisión de la empresa. Las sanciones económicas serán deducidas del importe de un contrato en vigor con la empresa del contratista/subcontratista, con el límite del 5% del importe de dicho contrato.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	271
2. MATERIALES	271
3. COMPONENTES SOLICITADOS A EMPRESAS EXTERNAS	276
4. CONSUMIBLES	277
5. HORAS DE PERSONAL	278
6. RESUMEN DEL PRESUPUESTO	279

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se mostrará el presupuesto total para la realización del proyecto. Se dividirán los gastos en cuatro grupos:

- Grupo 1: Materiales.
- Grupo 2: Componentes solicitados a empresas externas.
- Grupo 3: Consumibles.
- Grupo 4: Horas de trabajo del personal.

2. MATERIALES

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
1.1.	Chapa de acero inoxidable	Chapa de acero inoxidable AISI 404L de 3 milímetros de espesor	m ²	4	69,50€	278,00€
1.2.	Chapa de acero inoxidable	Chapa de acero inoxidable AISI 404L de 6 milímetros de espesor	m ²	1	138,65€	138,65€
1.3.	Chapa de acero inoxidable	Chapa de acero inoxidable AISI 404L de 10 milímetros de espesor	m ²	0,2	231,10€	46,22€
1.4.	Chapa de acero inoxidable	Chapa de acero inoxidable AISI 404L de 12 milímetros de espesor	m ²	0,6	316,20€	189,72€

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
1.5.	Chapa de acero inoxidable	Chapa de acero inoxidable AISI 404L de 15 milímetros de espesor	m ²	0,1	386,82€	38,68€
1.6.	Acoplamiento	Acoplamiento flexible de estrella de la marca ALBERT material AISI316 D=150mm. Material de la estrella NBR	unidad	1	580,00€	580,00€
1.7.	Retenes	Retenes EPIDOR 2BPT d=70, D2=100, b=10, material PTFE 561, Código 506.006	unidad	6	12,40€	74,40€
1.8.	Rodamientos	-Rodamiento SKF BS2-2211-2CSK VT143 -Soporte SKF SE511/609 eje 50mm -Laberinto cajera SE511/609 -Manguito de fijación SKF H2311 -Anillo de fijación SKF FRB 6/11	unidad	2	240,00€	480,00€
1.9.	Cinta de estanqueidad	Cinta de estanqueidad GORE TEX DF-14-10 (bobina de 10m).	caja	1	258,58€	258,58€

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
1.10.	Tubos redondo	Tubo redondo AISI 304 Dext=132 Dint=71	m	0,15	302,76€	45,41€
1.11.	Toricas	Junta torica EPIDOR NBR d1=52 d2=2,5	unidad	4	0,50€	2,00€
1.12.	Disco	Disco AISI 304 Dext=70 Dint=16 e=7	unidad	1	6,13€	6,13€
1.13.	Barra redonda	Barra redonda de Duplex 2205 de 3 ½ (D=88,9mm)	m	1	280,50€	280,50€
1.14.	Barra redonda	Barra redonda de Duplex 2205 de D=55	m	0,3	115,50€	34,65€
1.15.	Empaquetadu- ra	Estopa LATTYflon 4758 sección 10x10 código 00100200	m	0,5	30,00€	15,00€
1.16.	Perfil UPN80	Perfil UPN 80 de mterial AISI 304 y dimensiones 80x40x5	m	6	47,67€	286,02€
1.17.	Reductora	Reductora sinfín corona CYDEPA MFS 130A/30 5,5KW	unidad	1	1.200,00€	1.200,00€
1.18.	Material eléctrico	Clavijas, base, detector inductivo, prensa	-	-	-	278,00€

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
1.19.	Silentblocks con goma de e=30mm y D=65mm	Silentblocks para el anclaje de la reductora.	unidad	4	14,20€	56,80€
1.20.	Tubo inox de D=250mm y e=2mm	Tubo para la prolongación de la artesa del sinfín a la tolva de salida.	m	1,5	20,00€	30,00€
		-66 tornillos DIN 933 M12x35 inox A2. - 66 tuercas DIN 934 M12 Inox A2. -96 arandelas DIN 1440 d1=12mm inox A2. -4 tornillos DIN 933 M18x80 inox A2. - 4 tuercas DIN 934 M18 Inox A2.				
1.21.	Tornillería	-4 arandelas DIN 1440 d1=18mm inox A2. -8 tornillos DIN 933 M10x30 inox A2. -7 tuercas DIN 934 M10 Inox A2. -8 arandelas DIN 1440 d1=10mm inox A2. -8 tuercas DIN 934 M16 Inox A2.	unidad	-	-	30,00€

Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
1.22. Tornillería	-8 arandelas DIN 1440 d1=16mm inox A2.	unidad	-	-	20,00€
	-1 tornillo DIN 933 M16x40 inox A2.				
	-8 tuercas DIN 934 M10 Inox A2.				
	-8 arandelas DIN 1440 d1=10mm inox A2.				
	- 4 varillas roscadas M10 de L=110mm.				
	-6 tornillos DIN 933 M6x20 inox A2.				
	-6 arandelas DIN 1440 d1=6mm inox A2.				
	-4 tornillos DIN 933 M6x15 inox A2.				
	-4 arandelas DIN 1440 d1=6mm inox A2.				
	-16 tornillos prisioneros DIN 914 M8x10.				
1.23. Chavetas	-6 tornillos prisioneros DIN 914 M6x5.	unidad	4	10,00€	40,00€
	Chaveta DIN 6885 A INOX 14x9x45				
	Chaveta DIN 6885 A INOX 14x9x150	unidad	1	20,00€	20,00€

3. COMPONENTES SOLICITADOS A EMPRESAS EXTERNAS

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
2.1.	Compensador textil	Compensador textil a medida para la aplicación.	unidad	1	-	120,00€
2.2.	Camisa	Camisa de inox AISI 316 recubierta de Stellite 6 de L=65mm y	unidad	1	-	500,00€
2.3.	Camisa	Camisa de inox AISI 316 recubierta de Stellite 6 de L=190mm	unidad	1	-	700,00€
2.4.	Casquillo contenedor retenes	Casquillo partido de material AISI 304 para contener retenes	unidad	2	150,00€	300,00€
2.5.	Tapa	Tapa de la parte baja del transportador de material AISI 304 de e=12mm y con soporte para rodamientos.	unidad	1	-	258,00€
2.6.	Tapa	Tapa de la parte alta del transportador (tapa cuadrada) de material AISI 304 de e=12mm y con soporte para rodamientos.	unidad	1	-	258,00€

4. CONSUMIBLES

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
2.1.	Electrodos	Electrodos de 2,5mm AWS A5.4 TIP E316L17 para la soldadura de la chapa AISI304. Electrodos de 2,5mm AWS A5.4 TIP E309L Mo17 para la soldadura del dúplex 2205 con AISI 316.	unidad	30	3,33€	100,00€
2.2.	Discos	Disco de corte PFERD-HORSE 80EH 178-2 A24	unidad	12	2,75€	33,00€
2.3.	Herramientas torno	Estimación de desgaste de las herramientas del torno.	unidad	1	-	30,00€
2.4.	Brocas	Estimación de desgaste de brocas para el taladrado de las diferentes piezas.	unidad	1	-	20,00€

5. HORAS DE PERSONAL

	Elemento	Resumen	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Total
2.1.	Taller estático	Horas de trabajo de personal de taller estático: -Desmontaje, montaje e instalación de la nueva máquina.	unidad	120	22,00€	2640,00€
		-Transporte maquinaria y herramientas necesarias.				
		-Horas de Soldador	unidad	3	30,00€	90,00€
2.2.	Taller rotativo	Horas de trabajo personal de taller rotativo: -Ejecución de los muñones del sinfín, del eje de salida de la reductora y del prensaestopas.	unidad	25	35,00€	875,00€
2.3.	Taller eléctrico	Horas de trabajo del taller eléctrico: -Cambio de situación de los dispositivos eléctricos.	unidad	2	40,00€	80,00€
2.4.	Ingeniero proyectista	Horas de ingeniería para la elaboración del proyecto.	unidad	1	-	960,00€

6. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

GRUPO	RESUMEN	Euros
1	Material.....	4.428,76€
2	Componentes solicitados a empresas externas.....	2.136,00€
3	Consumibles.....	183,00€
4	Horas de personal.....	4.645,00€

El presente presupuesto asciende a la cantidad de:

ONCE MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y DOS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS

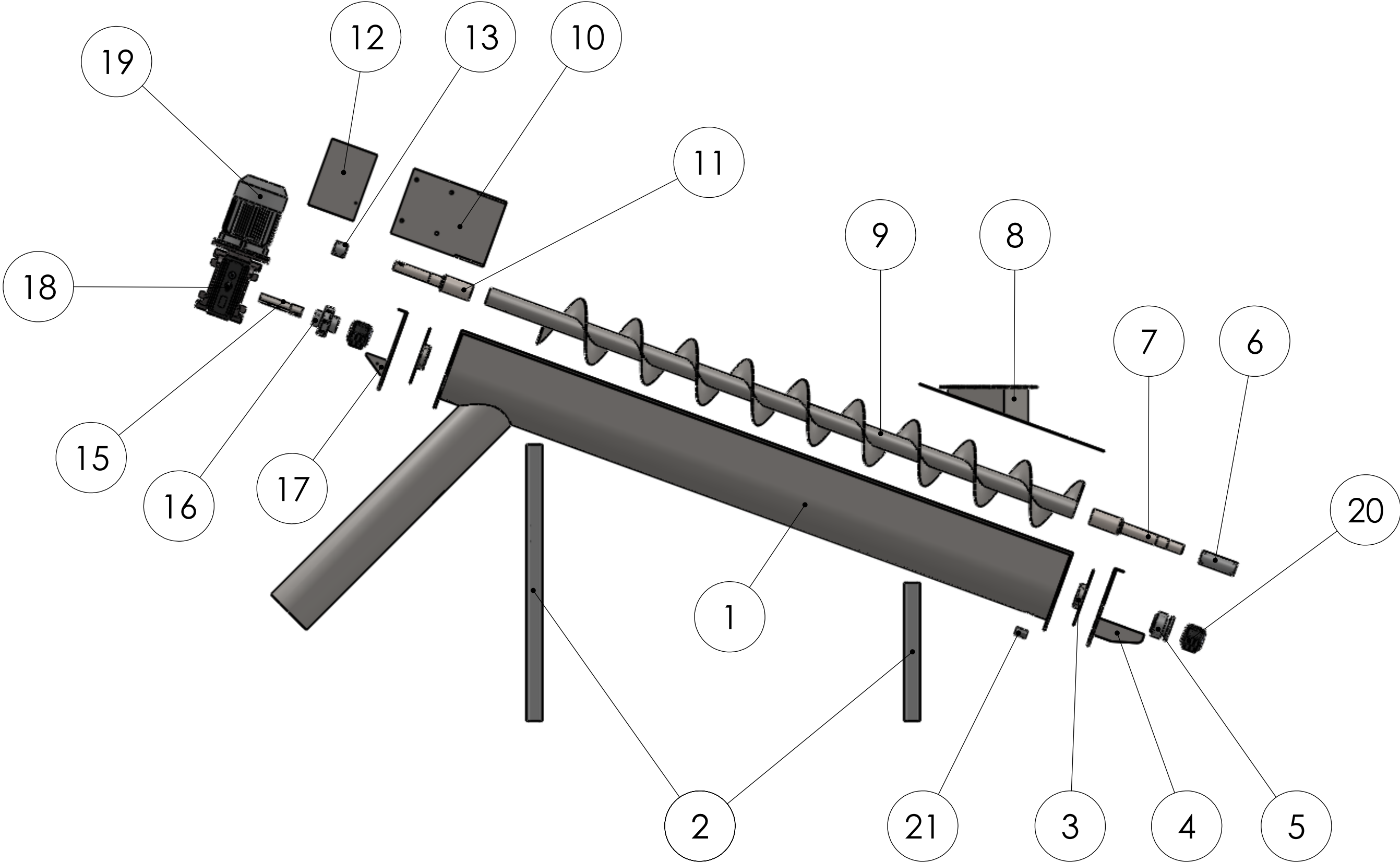
#11.392,76#

Castellón de la Plana, Septiembre 2016

PLANOS

ÍNDICE



DESPIECE COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR.....	0
Artesa	1
Patatas cortas	2.1
Patatas largas.....	2.2
Casquillo contenedor de retenes	3.1
Tapa del casquillo contenedor de retenes	3.2
Tapa lado bajo	4
Casquillo del prensaestopas	5.1
Prensa del prensaestopas.....	5.2
Camisa larga (lado bajo)	6
Punta del eje (lado bajo)	7
Tolva de entrada de producto al sin fin.....	8
Eje del sin fin	9
Soporte reductora	10
Punta del eje (lado alto)	11
Protector del acoplamiento	12
Camisa corta (lado bajo).....	13
Disco	14
Eje reductora	15
Acoplamiento	16
Tapa lado alto	17
DESPIECE COMPONENTES CENTRÍFUGA	19
Chapa interior.....	20
Soporte de la chapa interior	21
Acople centrífuga textil	22
Textil	23
COMPARACIÓN ANTES/DESPUÉS.....	24
MONTAJE TRANSPORTADOR.....	25
MONTAJE COMPLETO	26

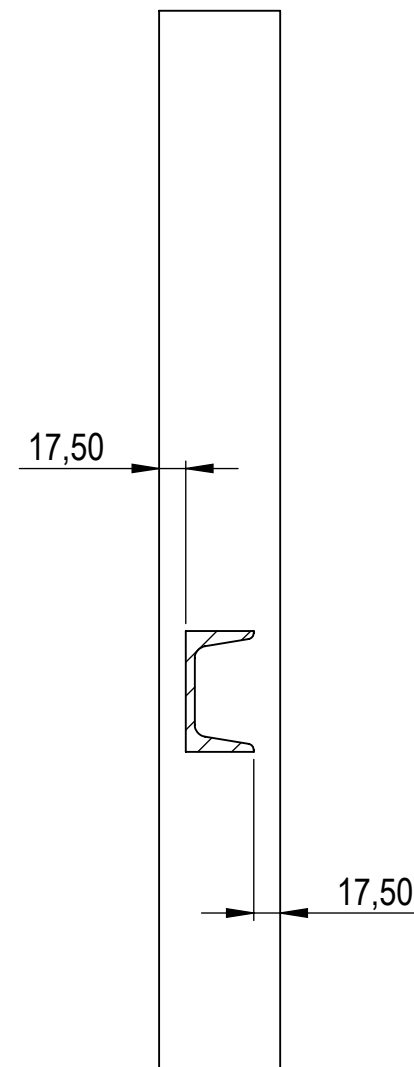
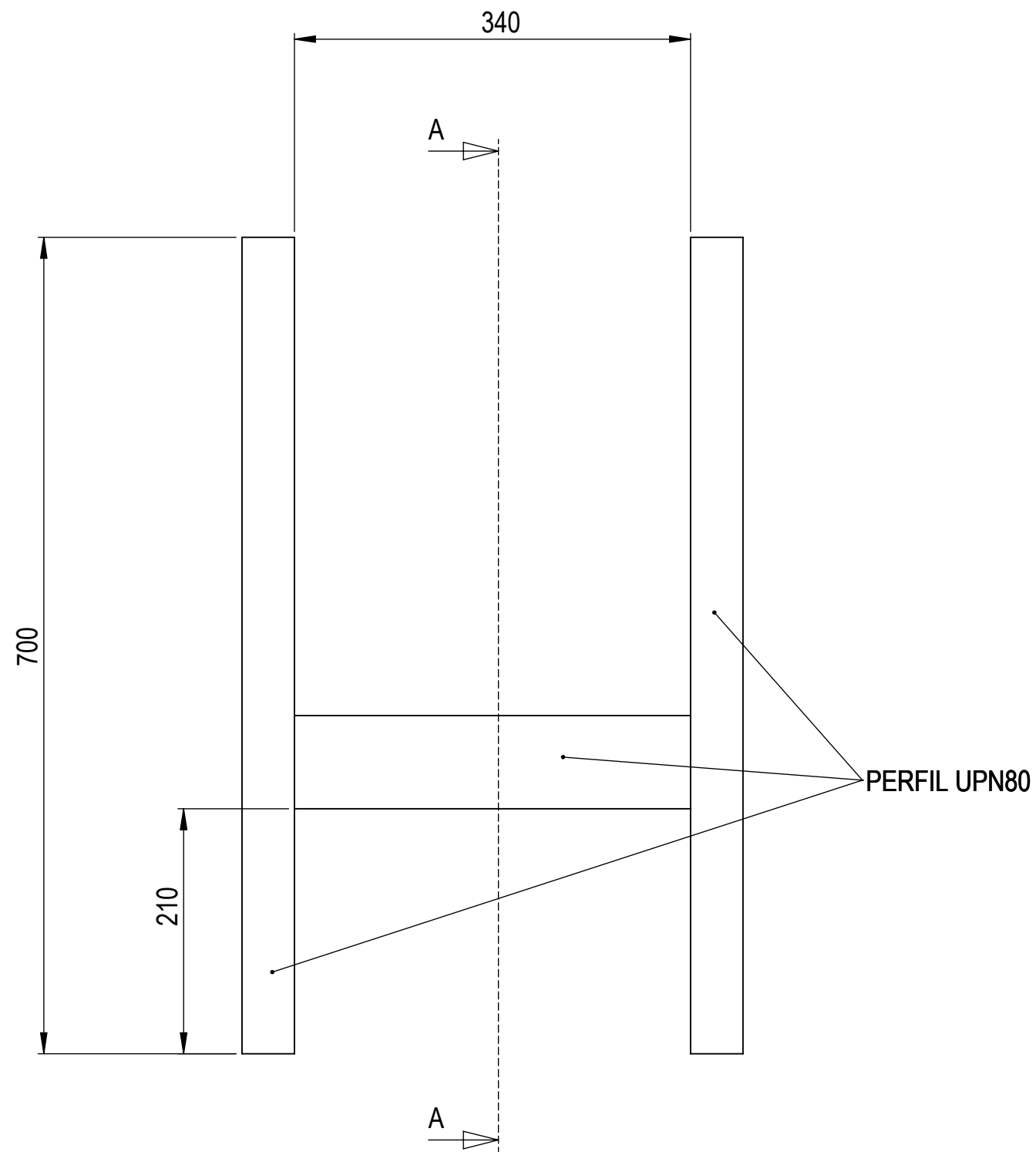


21	Entronque 2"	FUNDICIÓN	-
20	Cajera de rodamientos SKF SNL 509/611	FUNDICIÓN	-
19	Motor ABB 5,5KW 1500rpm	FUNDICIÓN	-
18	Reductora	FUNDICIÓN	-
17	Tapa lado alto	AISI 304	17
16	Acoplamiento	AISI 316L	16
15	Eje reductora	AISI 2205	15
14	Disco	AISI 304	14
13	Camisa corta (lado alto)	AISI 304/Stel6	13
12	Tapa protectora del acoplamiento	AISI 304	12
11	Punta del eje (lado alto)	AISI 2205	11
10	Soporte reductora	AISI 304	10
9	Eje principal del sin fin	AISI 316	9
8	Tolva de entrada de producto al sin fin	AISI 304	8
7	Punta del eje (lado bajo)	AISI 2205	7
6	Camisa larga (lado bajo)	AISI 304/Stel6	6
5	Prensaestopas	AISI 304	5
4	Tapa lado bajo	AISI 304	4
3	Casquillo retenes	AISI 304	3
2	Patas	AISI 304	2
1	Artesa	AISI 304	1
Número de piezas	Nombre de la pieza	Material	Número de plano
Observaciones:		Componentes del transportador helicoidal	Plano nº 0
Escala	Ud. Dim. mm.	 Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:20			Rev 1
		Tutor: Jesús Ferrer Galindo	

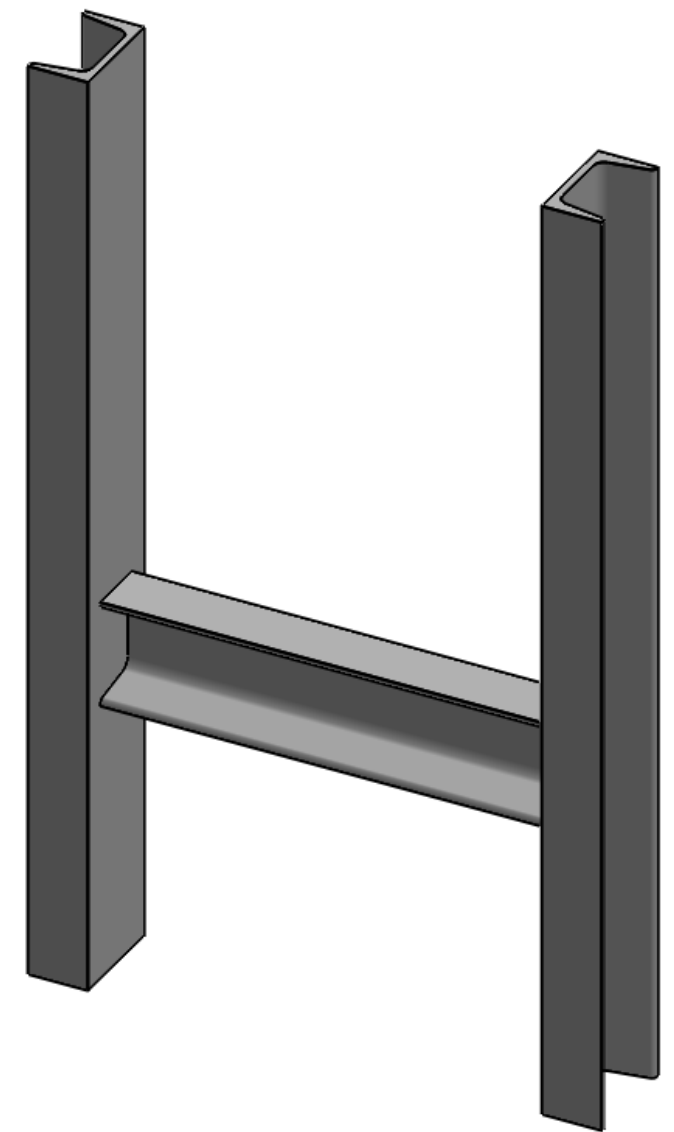


**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**



Observaciones		T3tulo: Artesa		Plano n31
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:10			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1

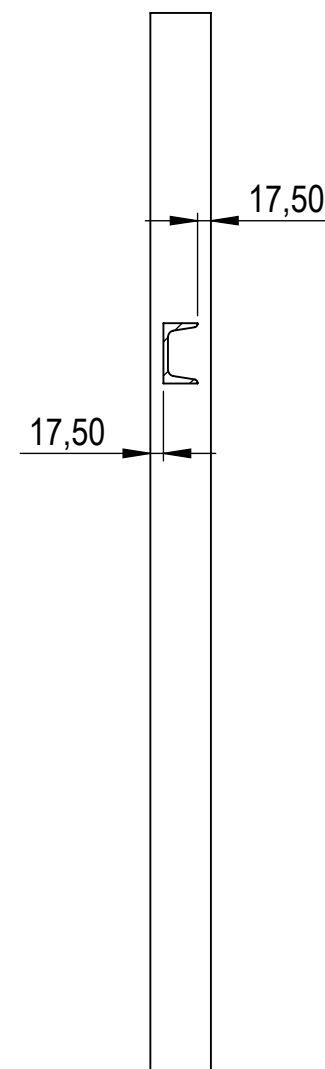
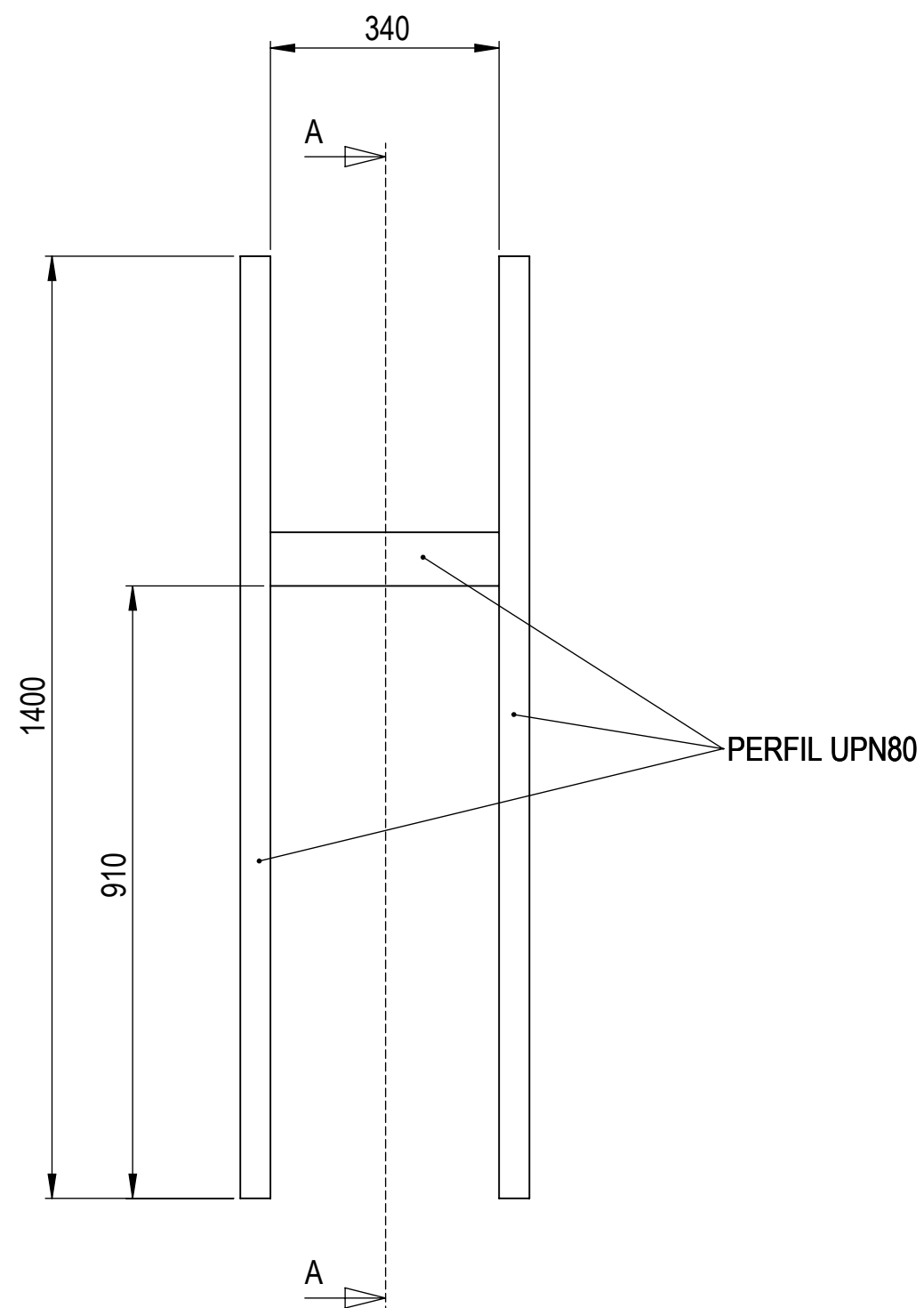


SECCIÓN A-A

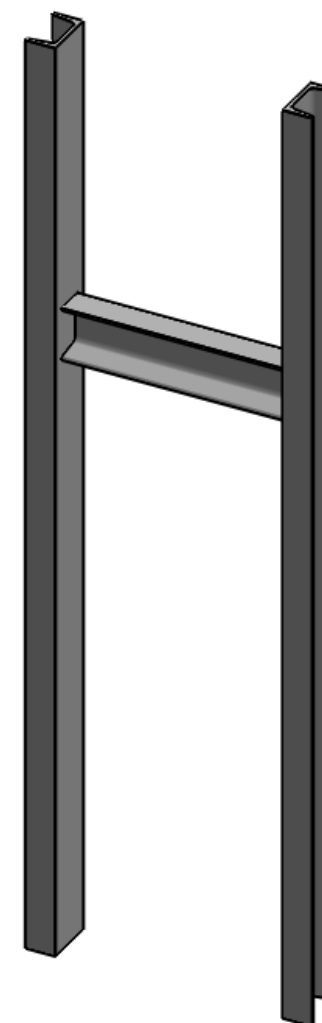


**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**



Observaciones		Título: Patas cortas		Plano nº 2.1
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1

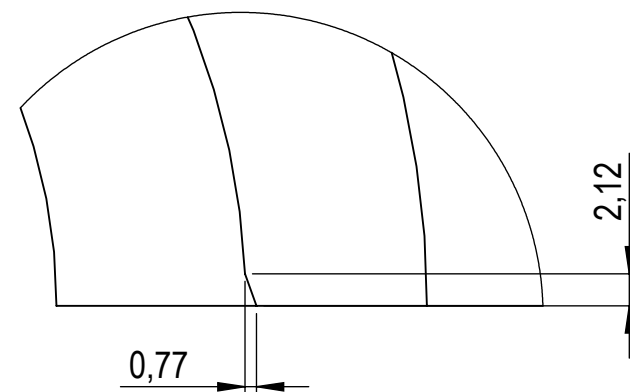
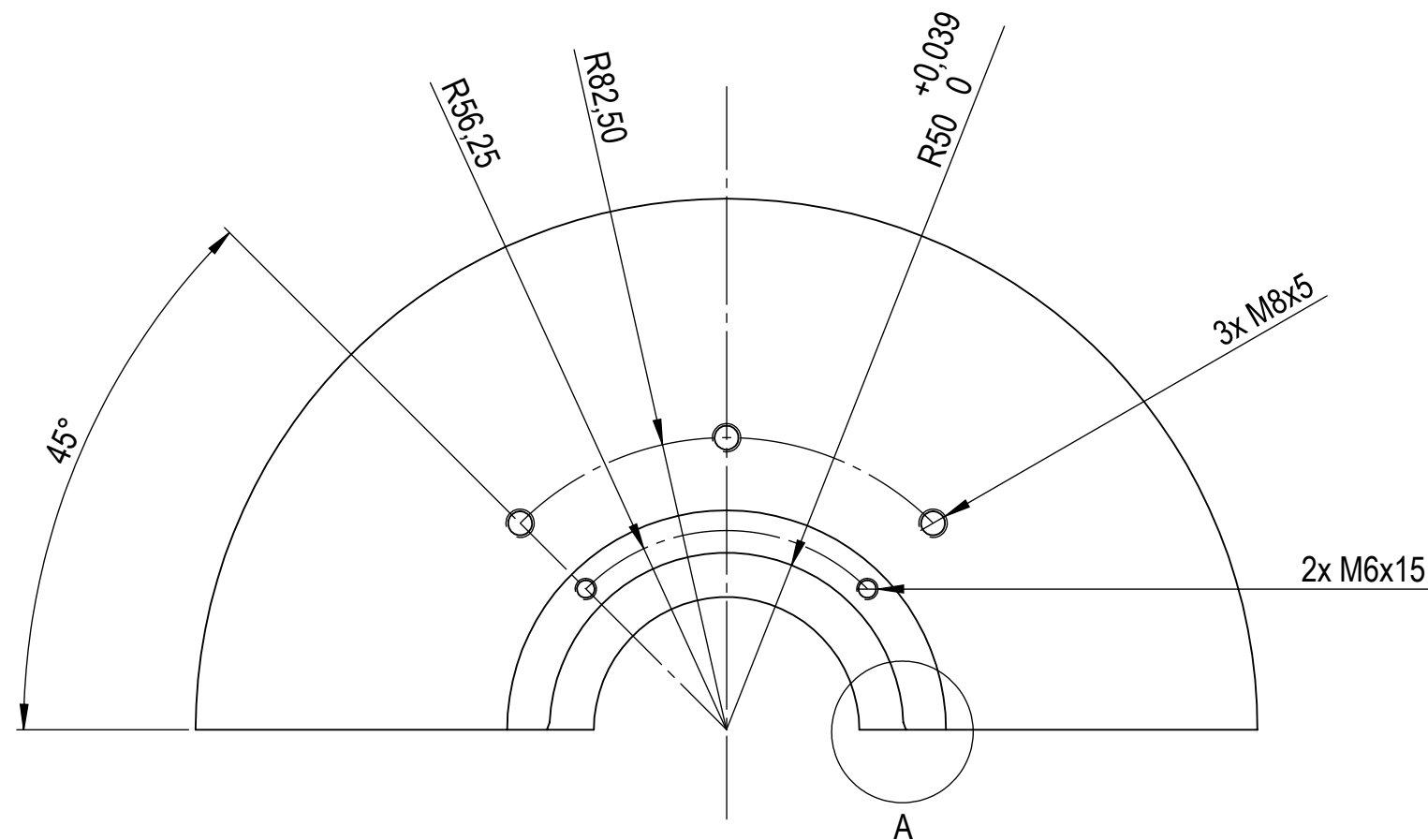
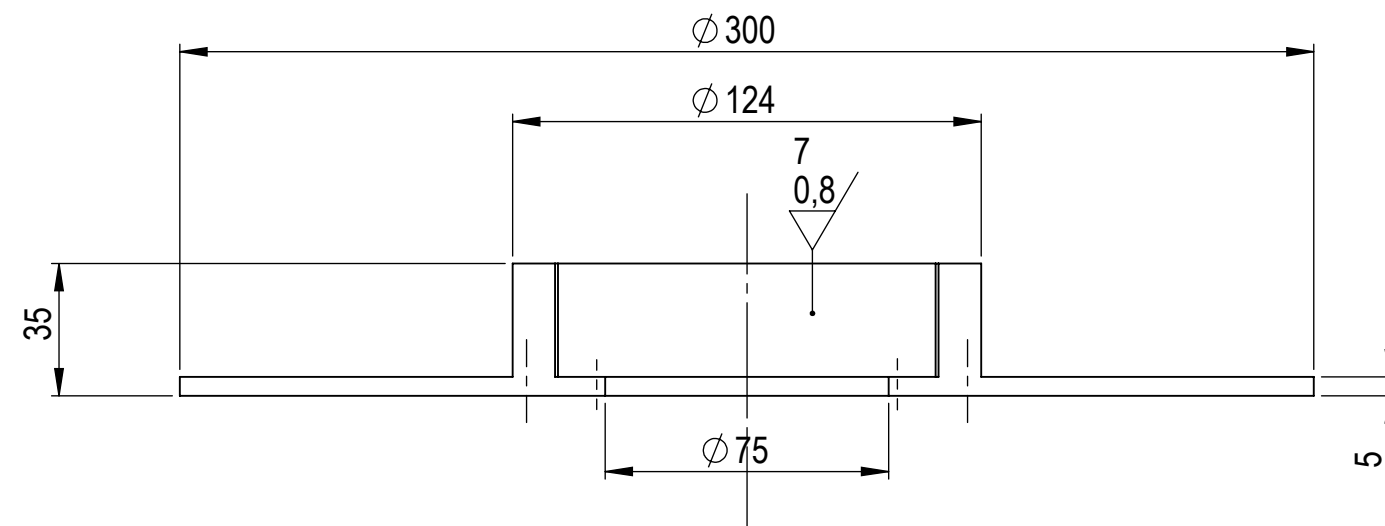


SECCIÓN A-A

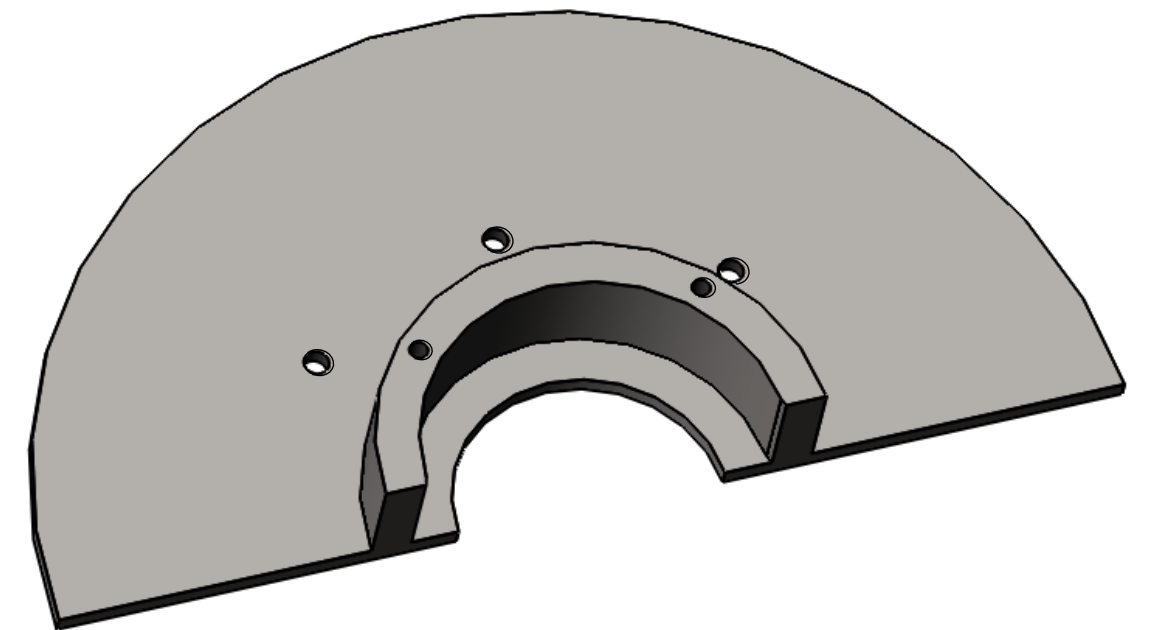


**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**



Observaciones		Título: Patas largas		Plano nº 2.2
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:10			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1

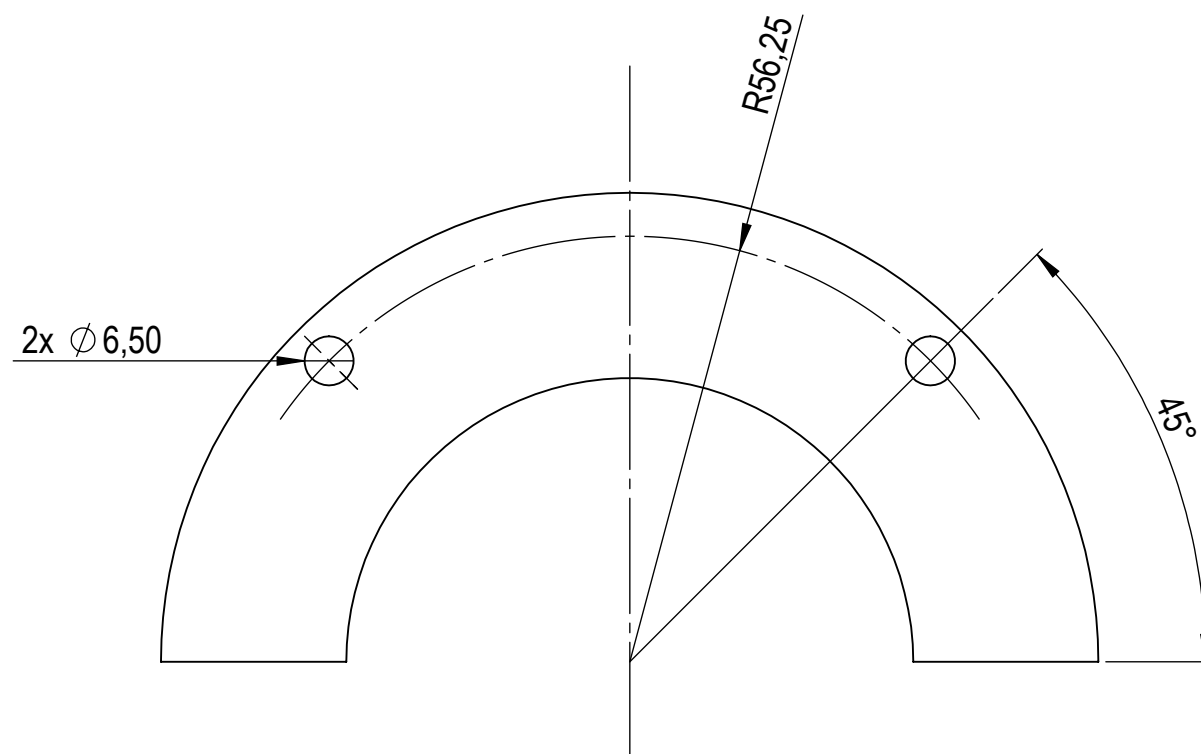
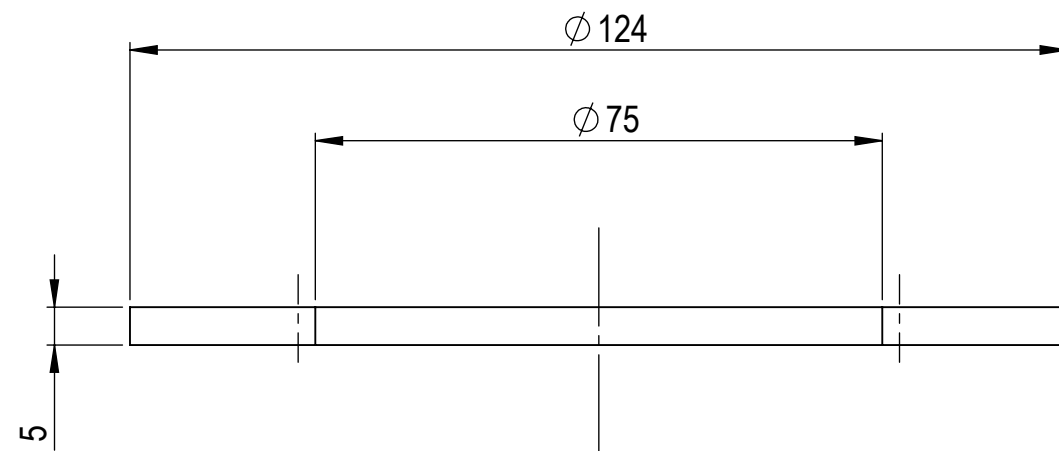


DETALLE A
ESCALA 2 : 1





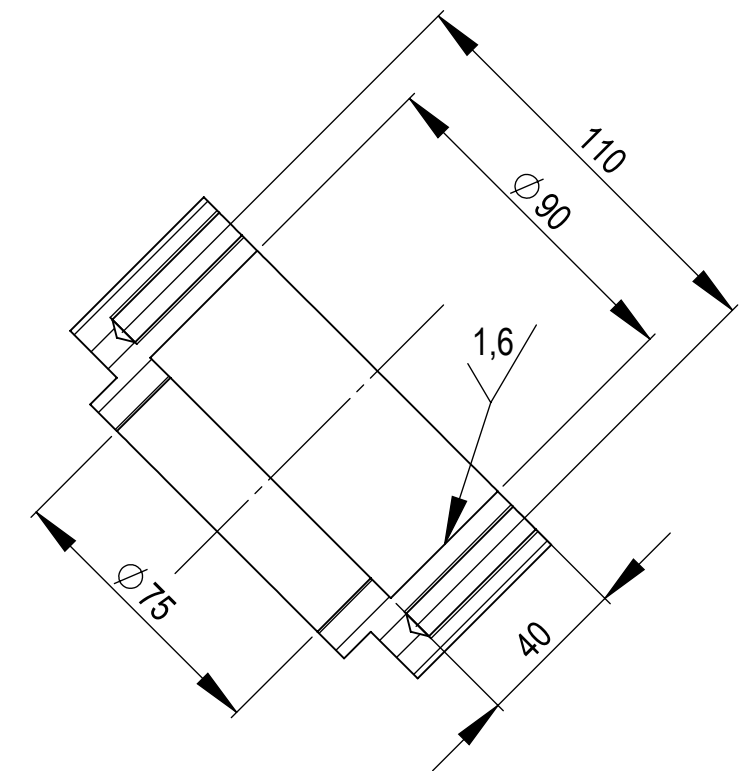
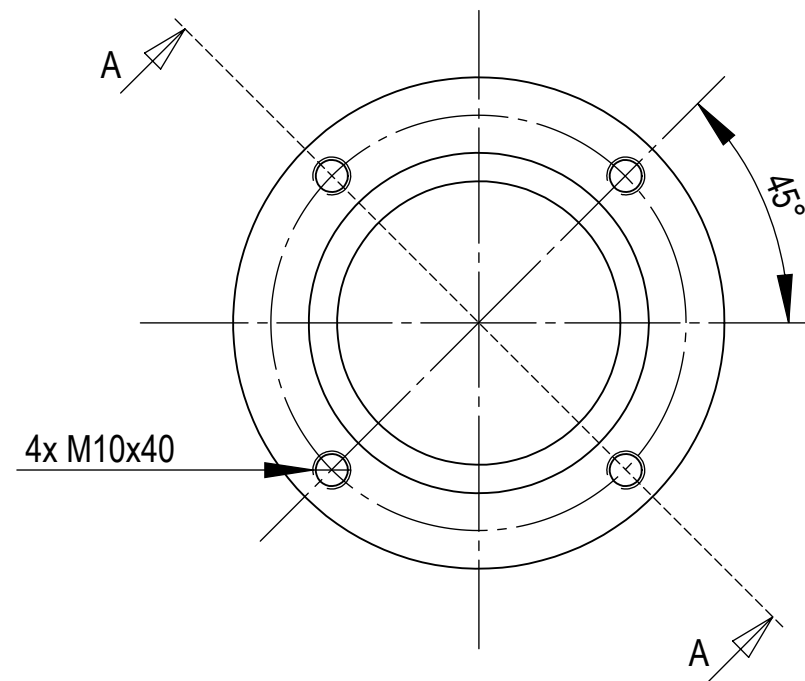
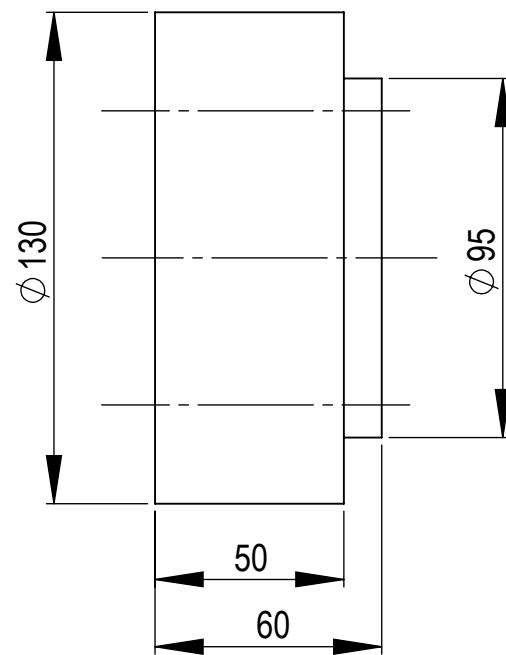
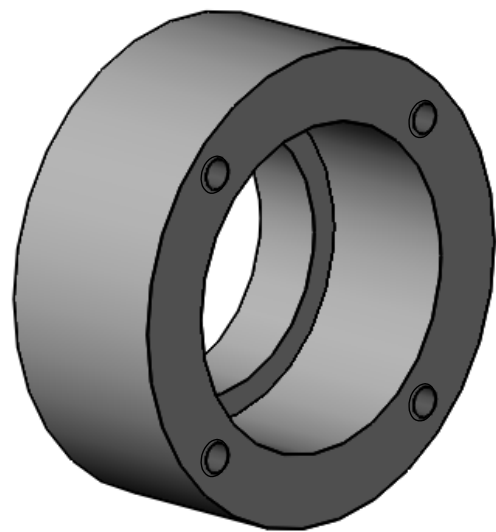
**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

Observaciones		Título: Casquillo retenes		Plano nº 3.1
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1





**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

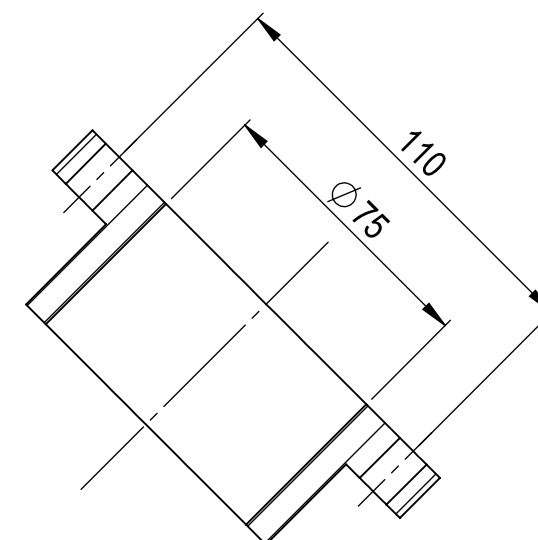
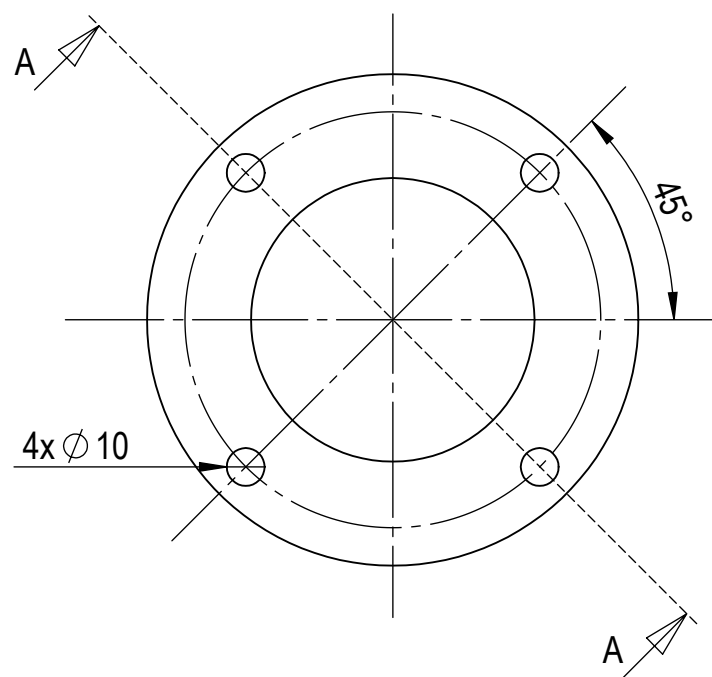
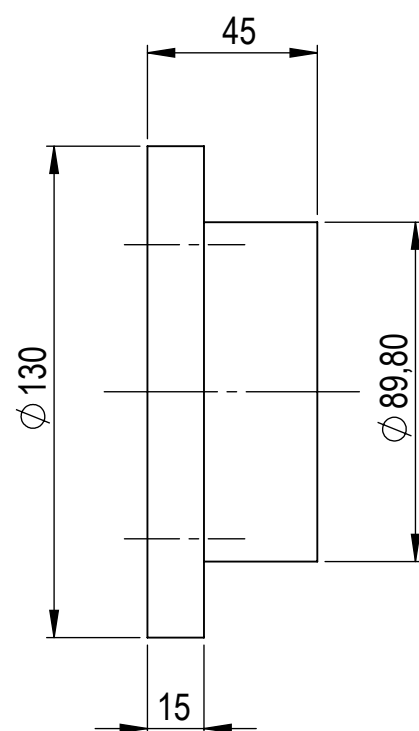
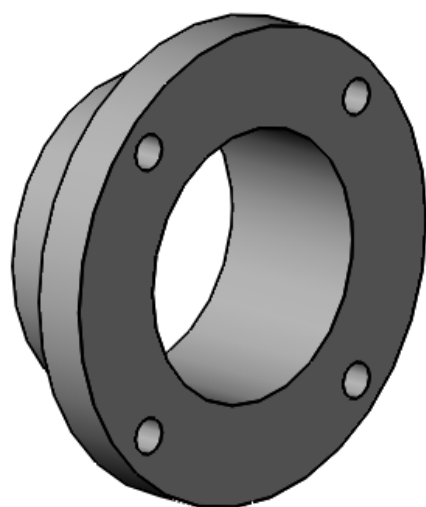
Observaciones		T3tulo: Tapa del casquillo retenes		Plano n3 3.2
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:1			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1



SECCIÓN A-A



**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

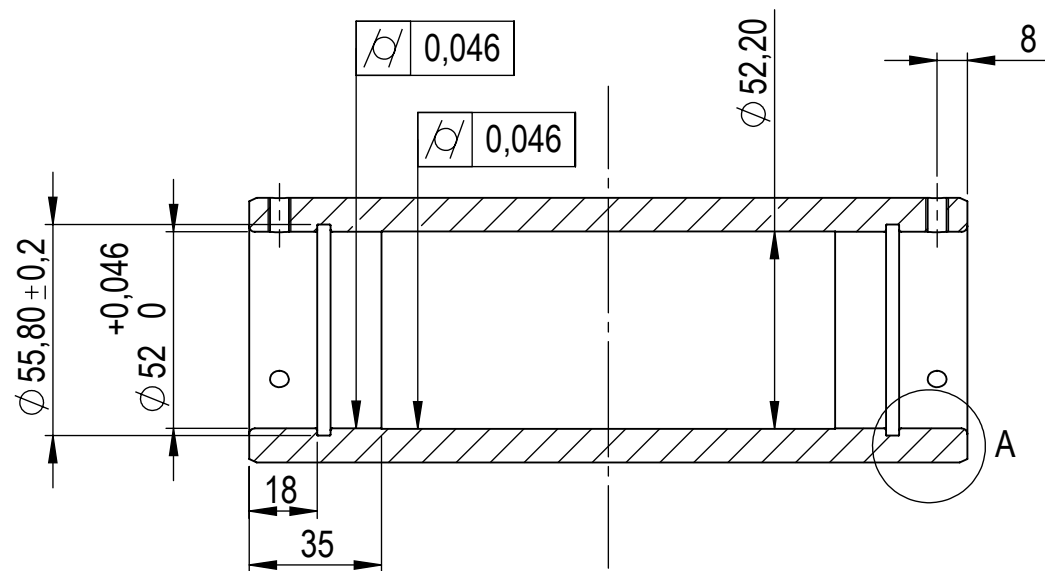
Observaciones		Título: Casquillo del prensaestopas		Plano nº 5.1
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1



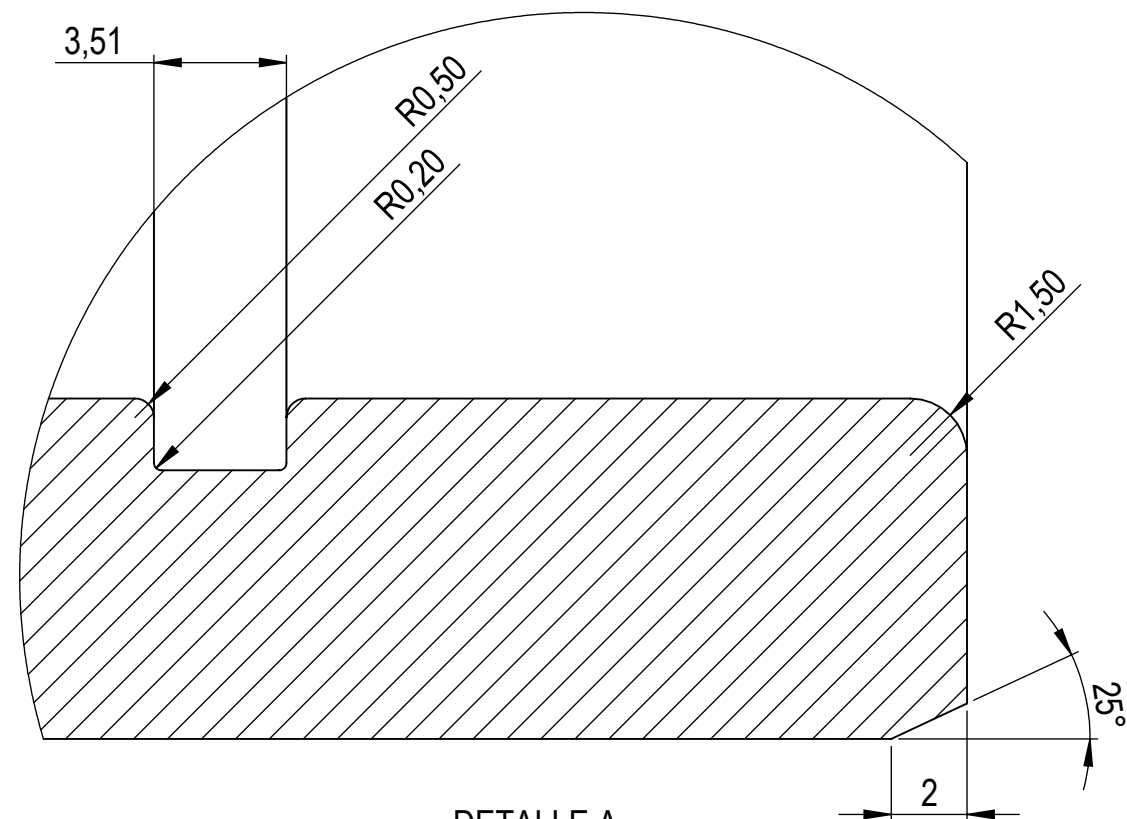
SECCIÓN A-A

**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

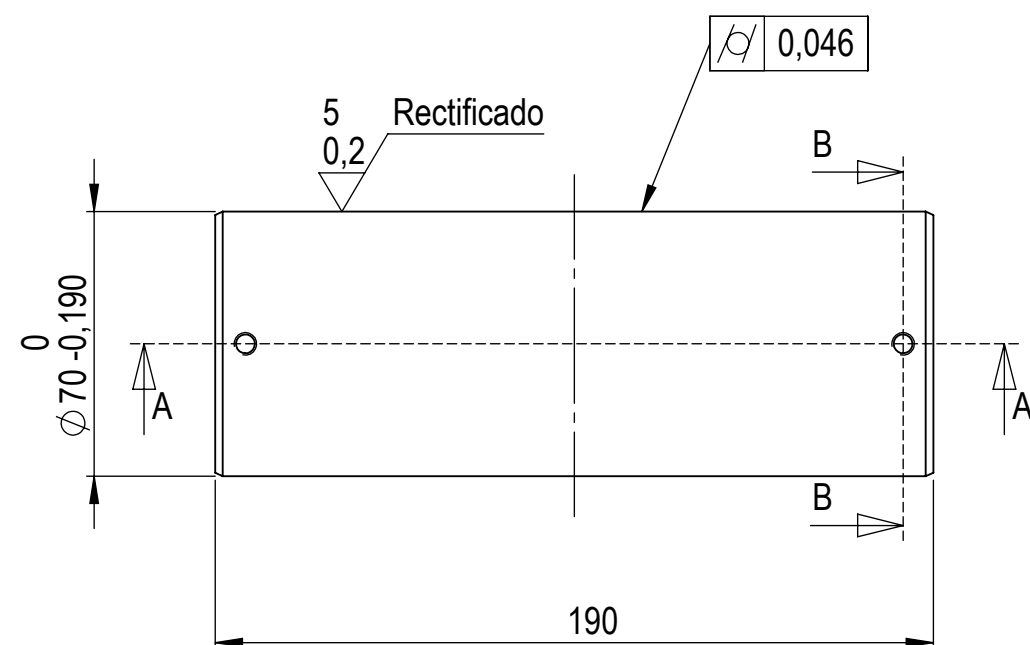
Observaciones		Título: Prensa del prensaestopas		Plano nº 5.2
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1



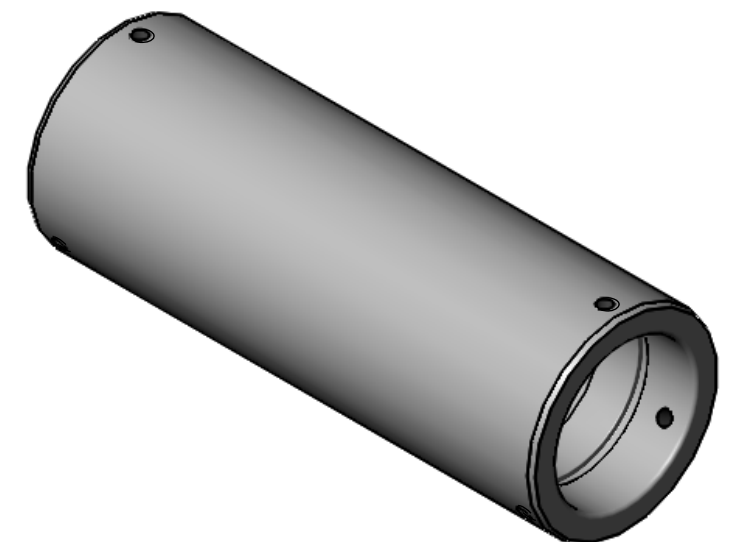
SECCIÓN A-A





DETALLE A
ESCALA 5 : 1

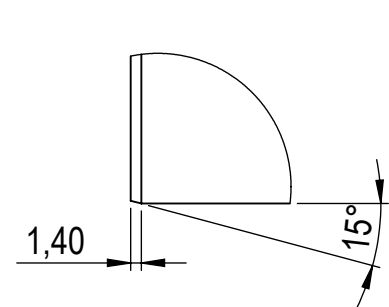
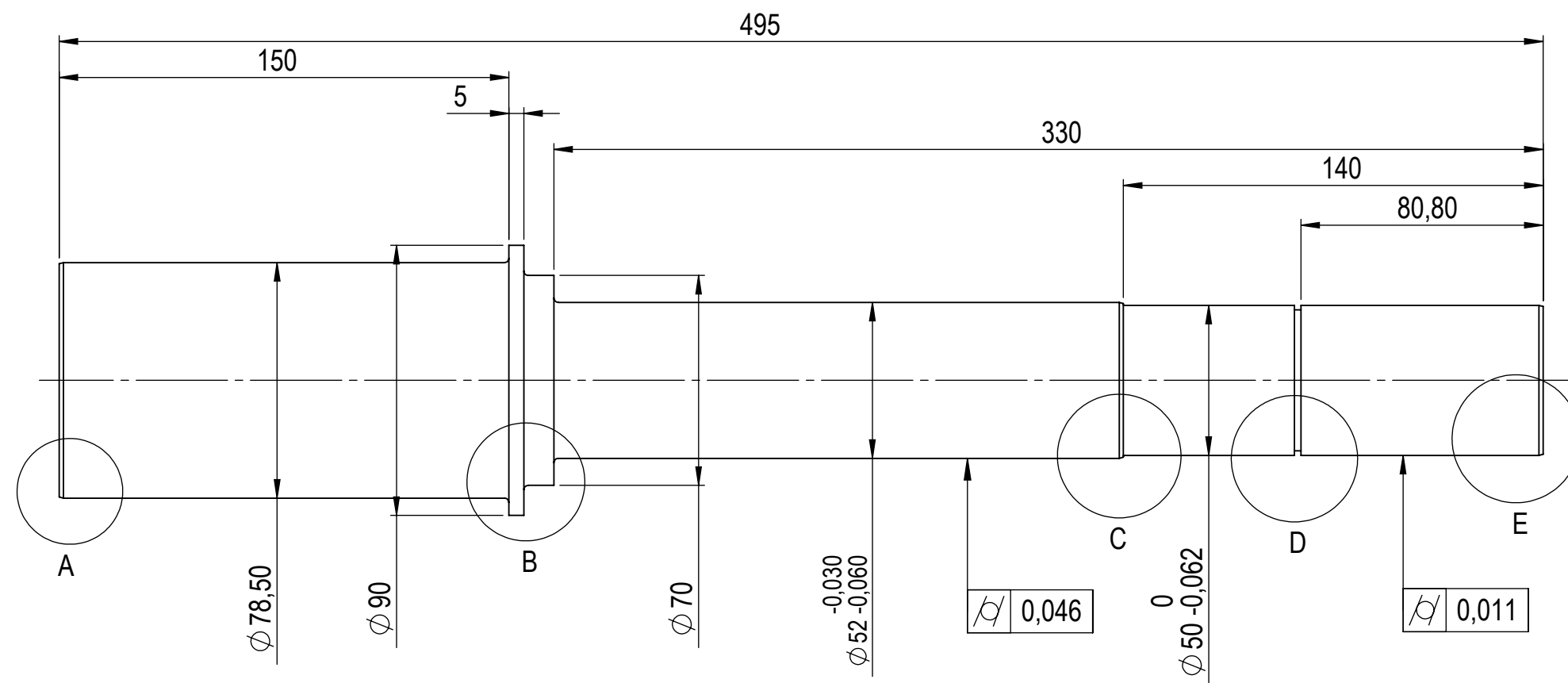


SECCIÓN B-B

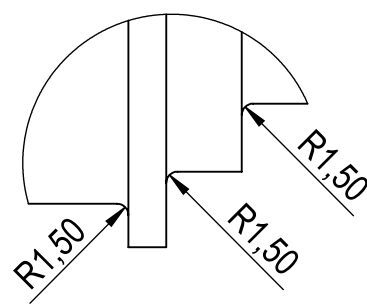


**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

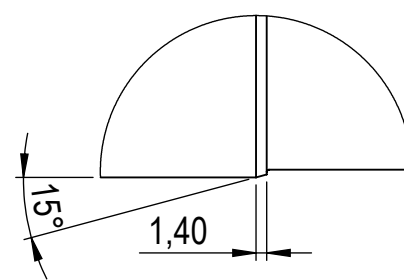
Observaciones		Título: Camisa larga (lado bajo)		Plano nº 6
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1



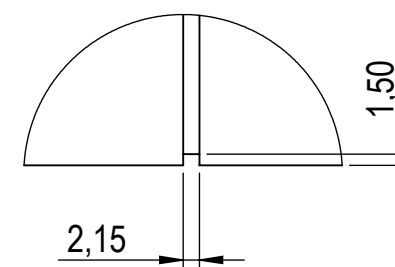
DETALLE A
ESCALA 1 : 1



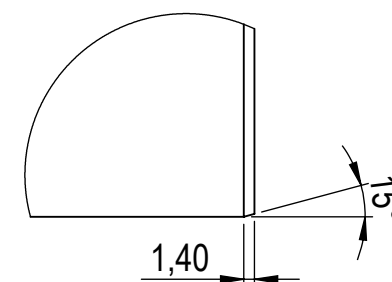
DETALLE B
ESCALA 1 : 1



DETALLE C
ESCALA 1 : 1





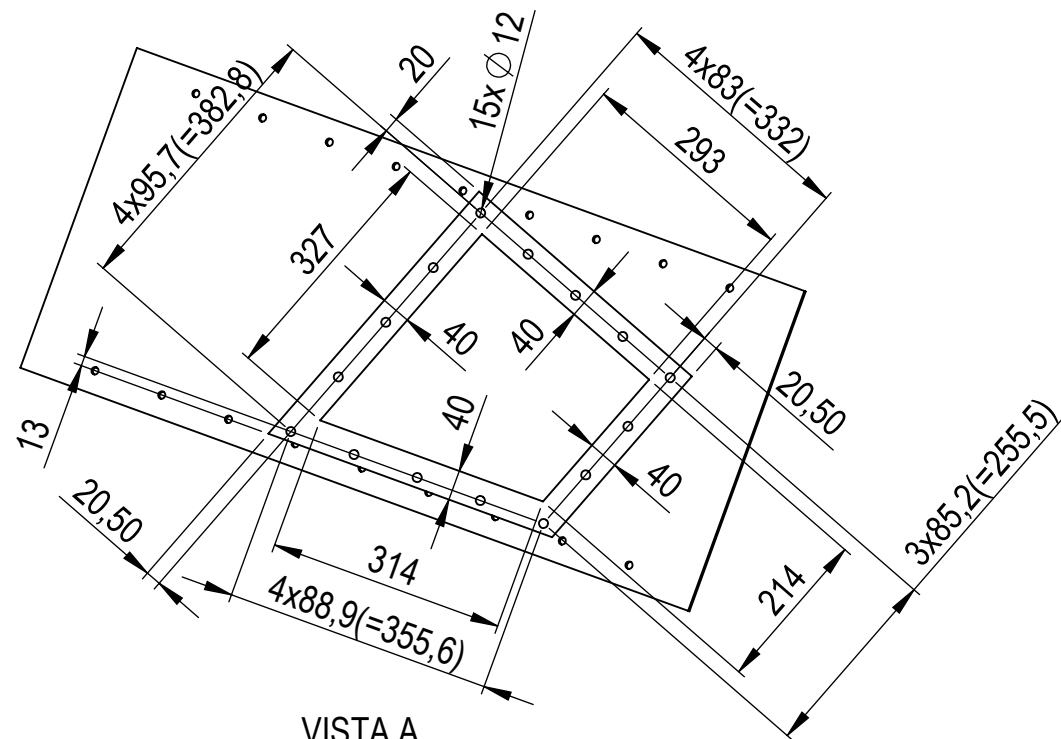
DETALLE D
ESCALA 1 : 1



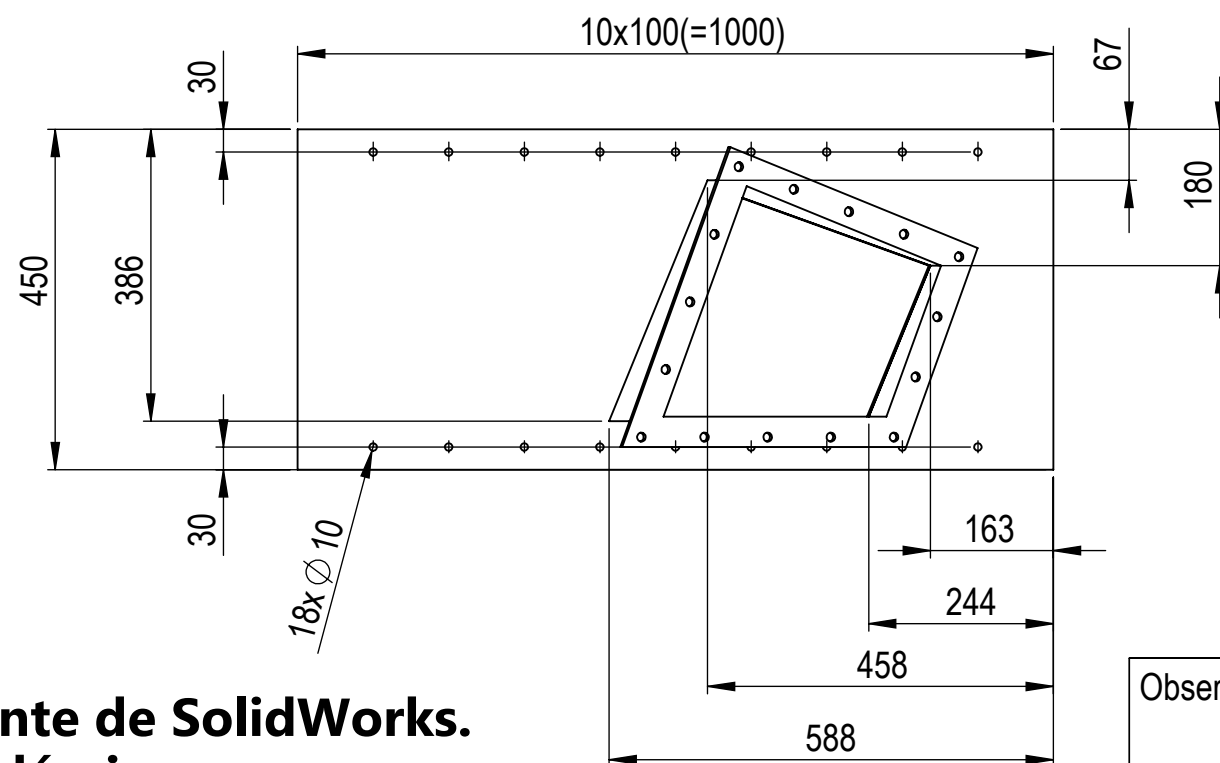
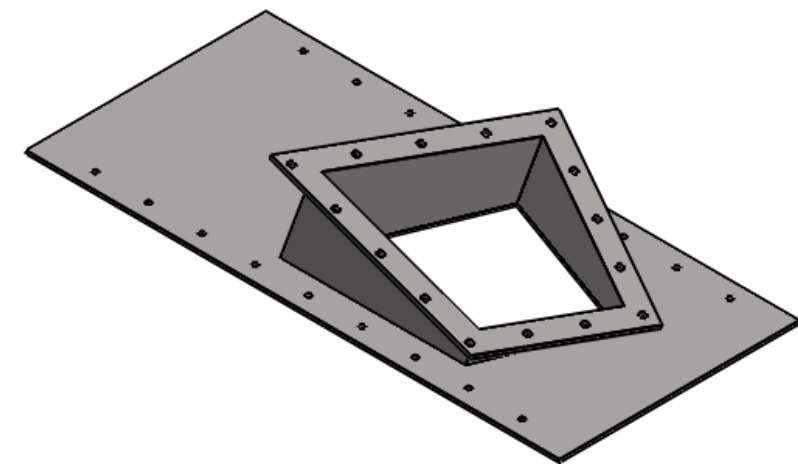
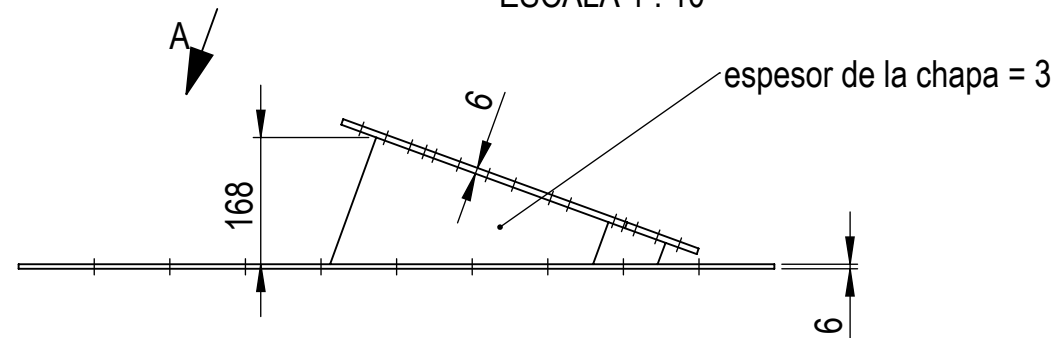
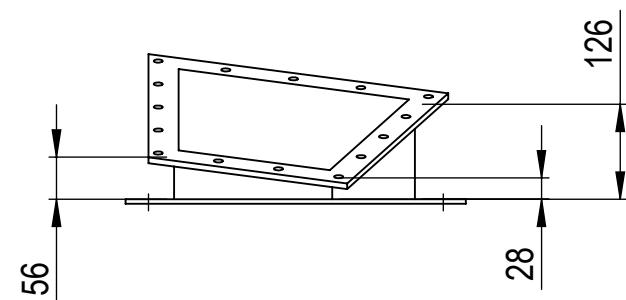
DETALLE E
ESCALA 1 : 1

Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Punta del eje (lado bajo)		Plano n37
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1

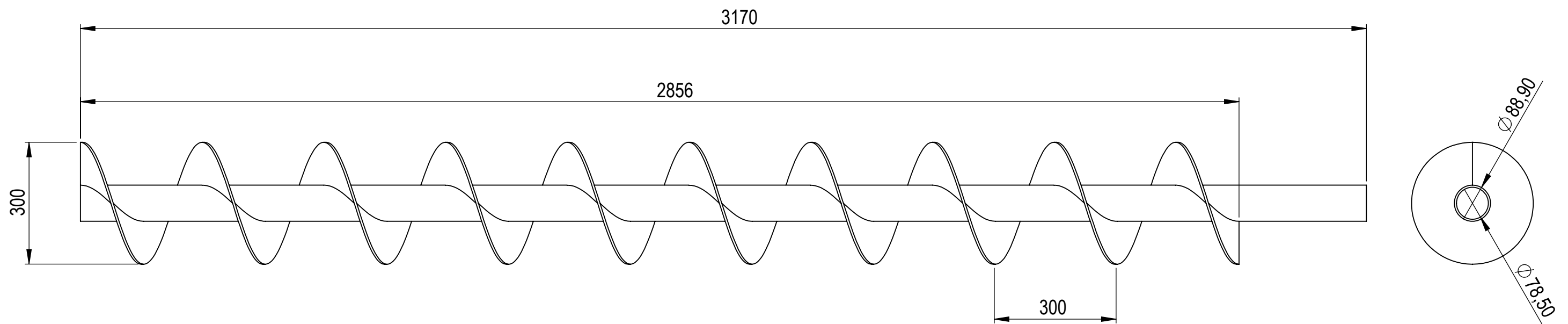
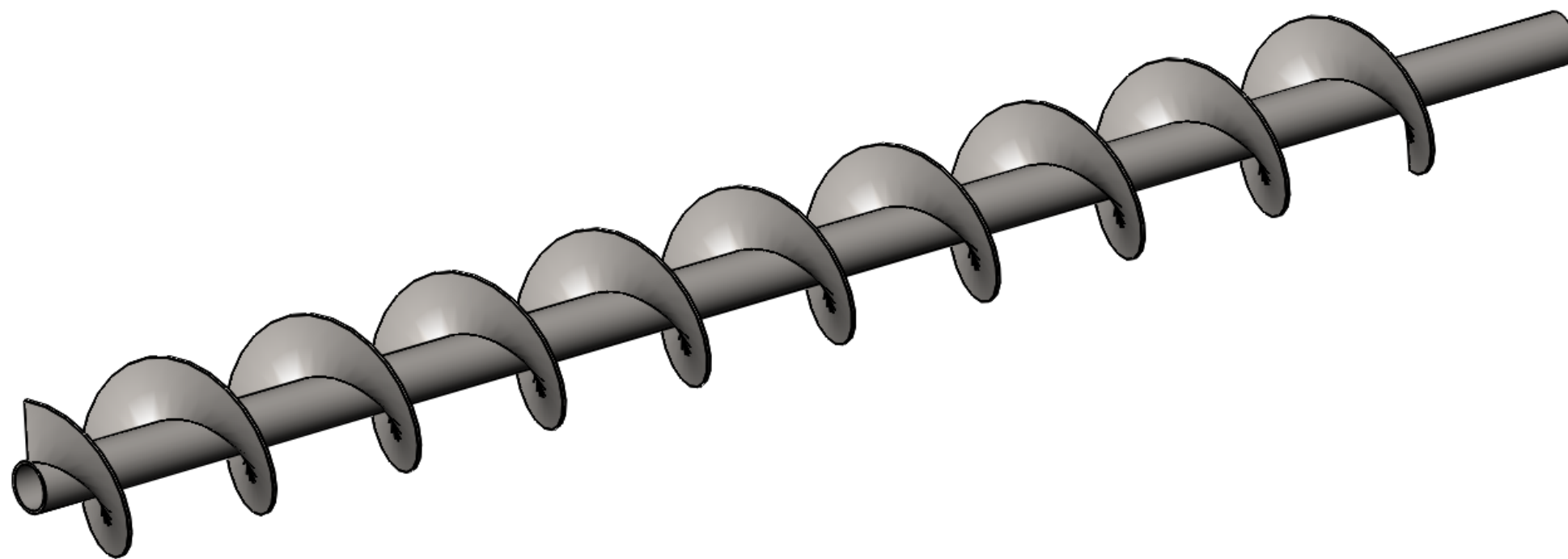


VISTA A
ESCALA 1 : 10





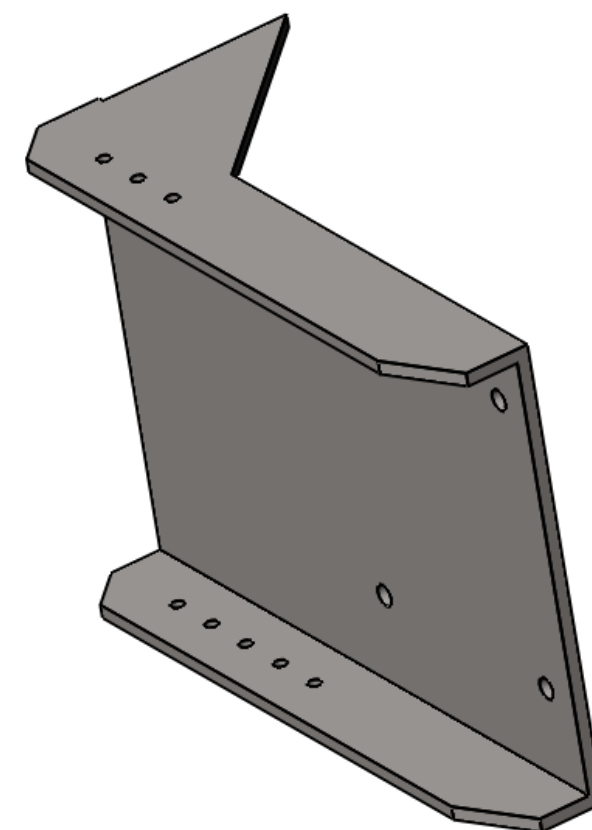
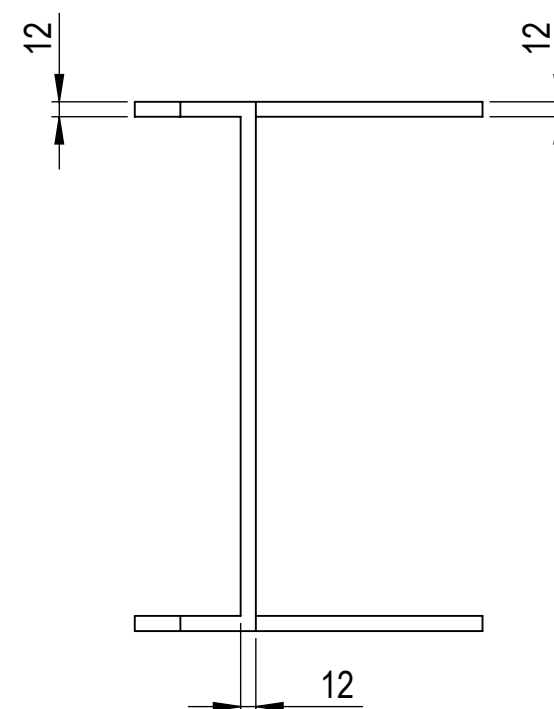
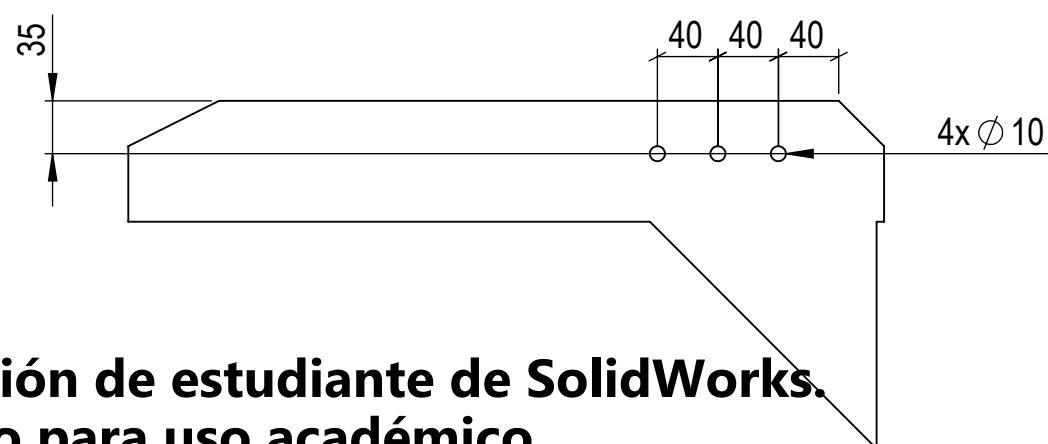
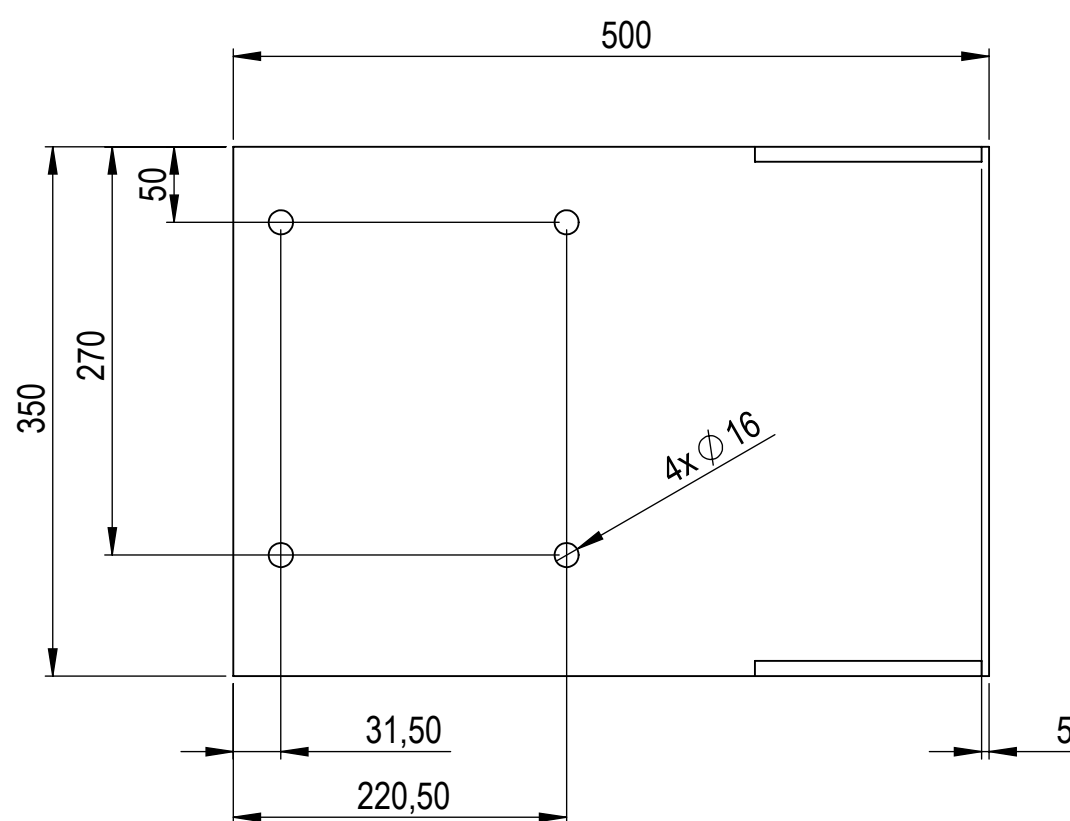
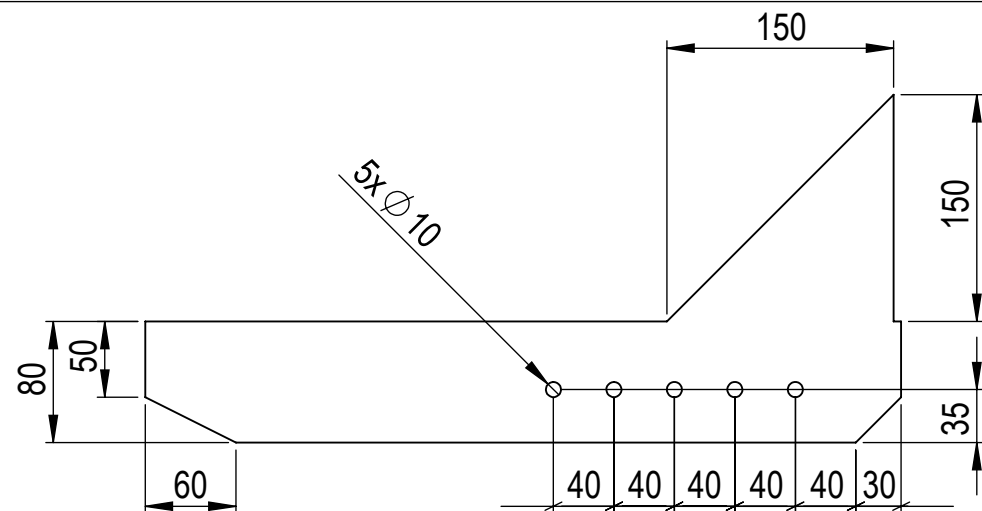
Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.

Observaciones		Título: Tolva de entrada de producto al sin fin		Plano nº 8
Escala 1:10	Ud. Dim. mm. 		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1





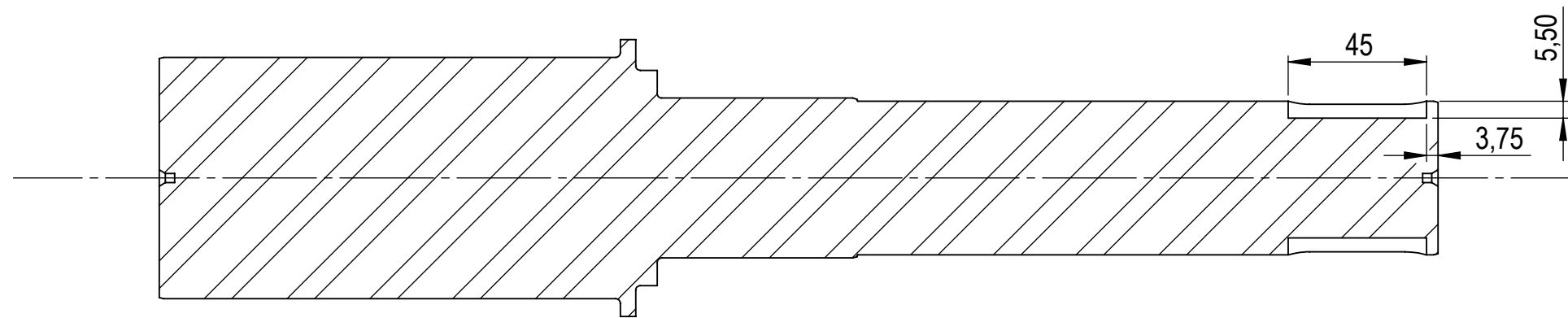
**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

Observaciones		T3tulo: Eje principal del sin fin		Plano n3 9
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:10			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1

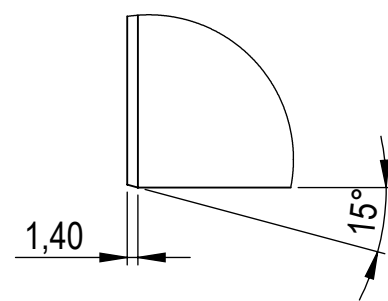
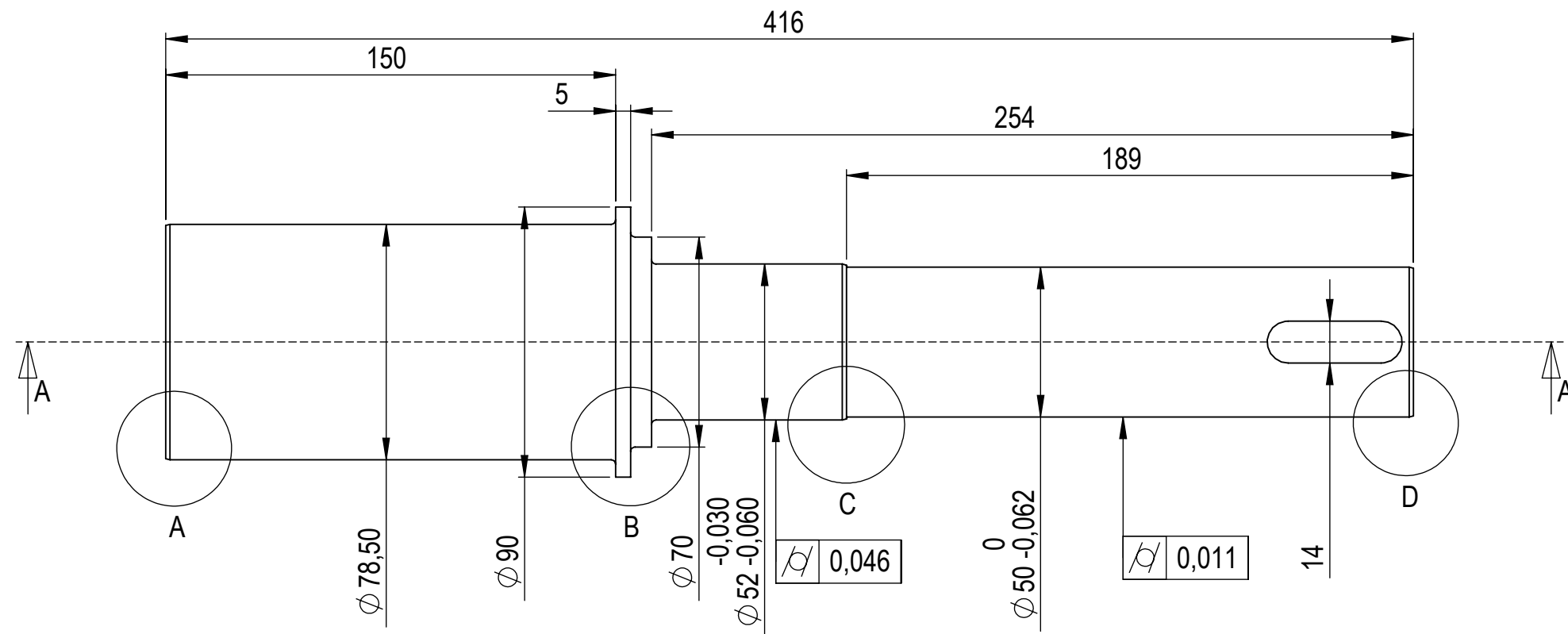


**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

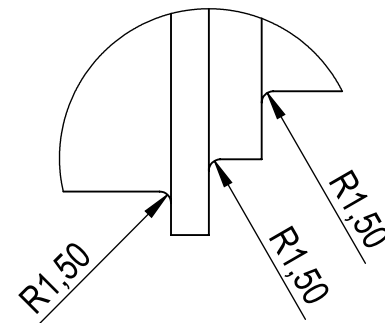
Observaciones		Título: Soporte reductora		Plano nº10
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	9/09/2016
1:5			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1



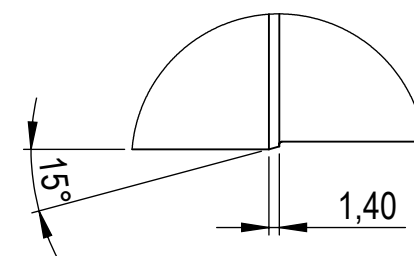
SECCIÓN A-A



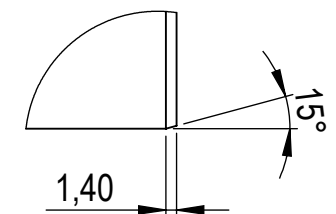
DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1





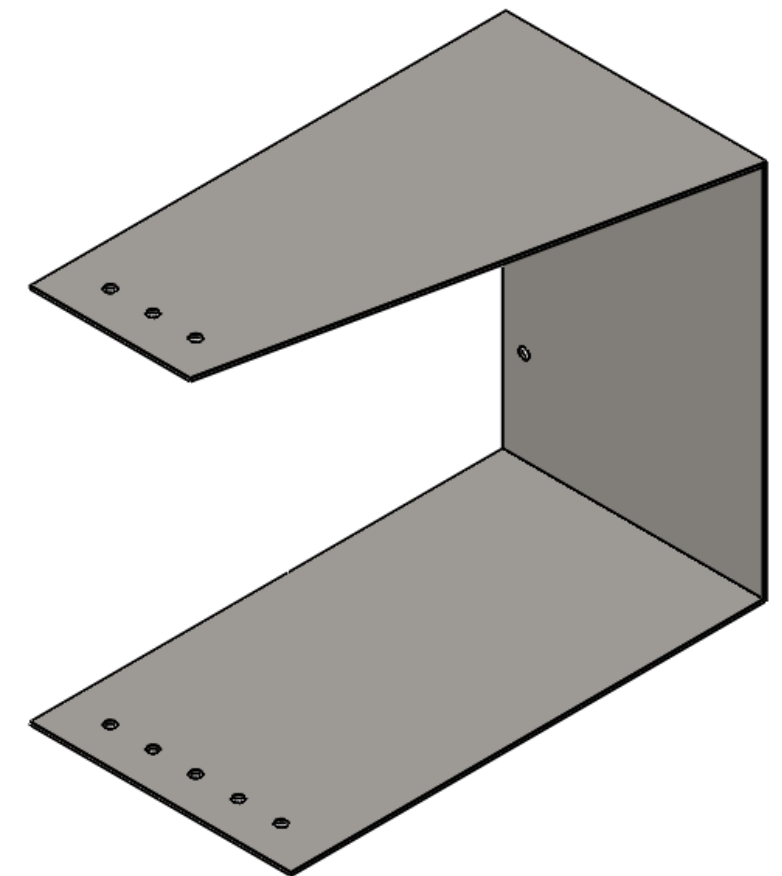
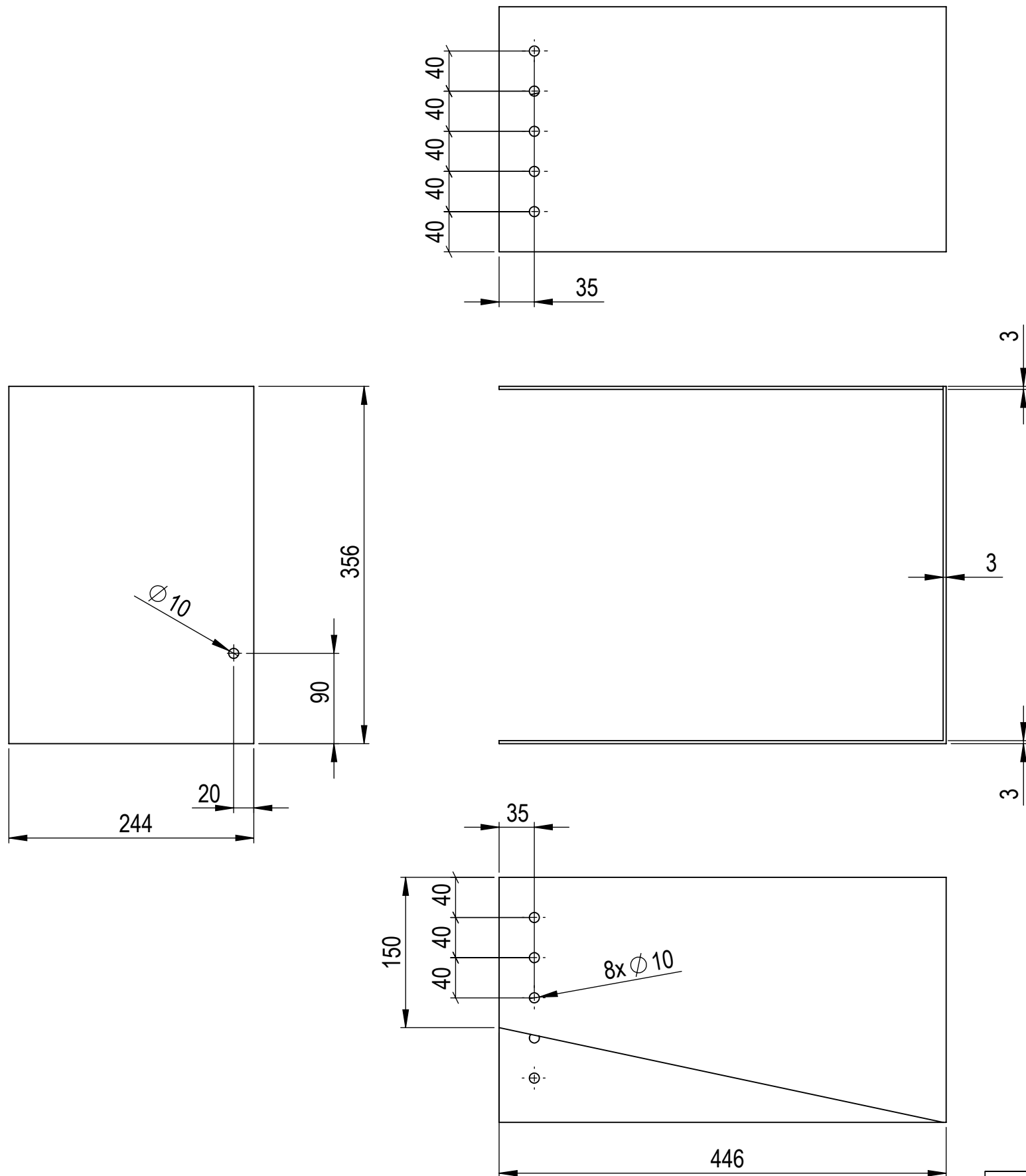
DETALLE C
ESCALA 1 : 1





DETALLE D
ESCALA 1 : 1

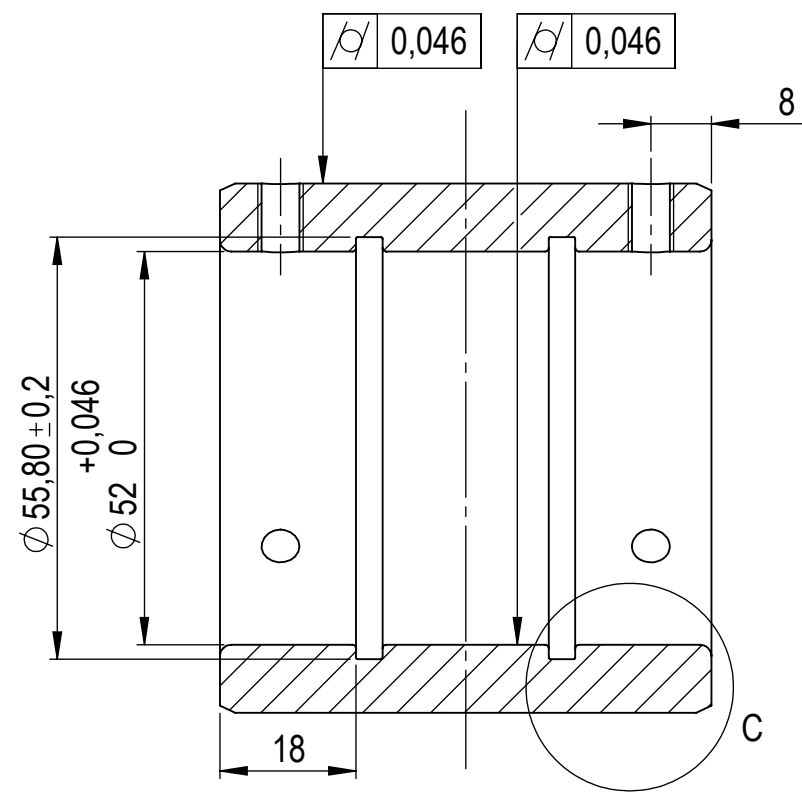
**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

Observaciones		Título: Punta del eje (lado alto)		Plano nº 11
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1

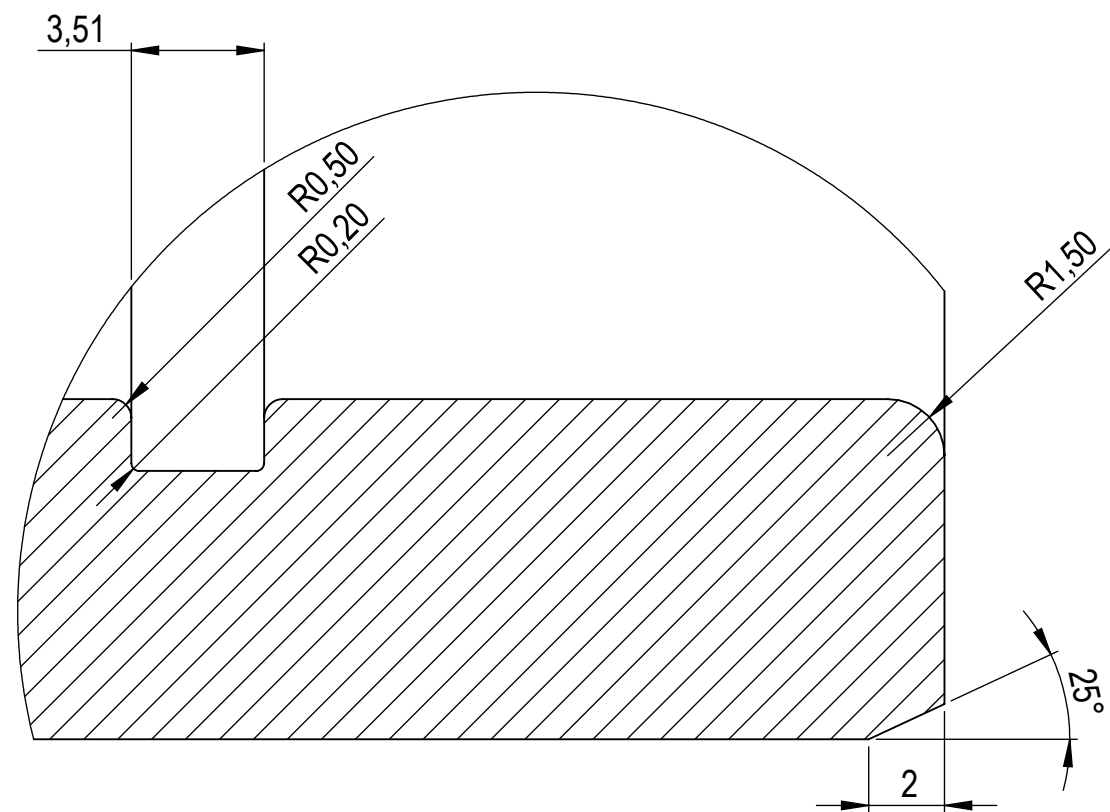


**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

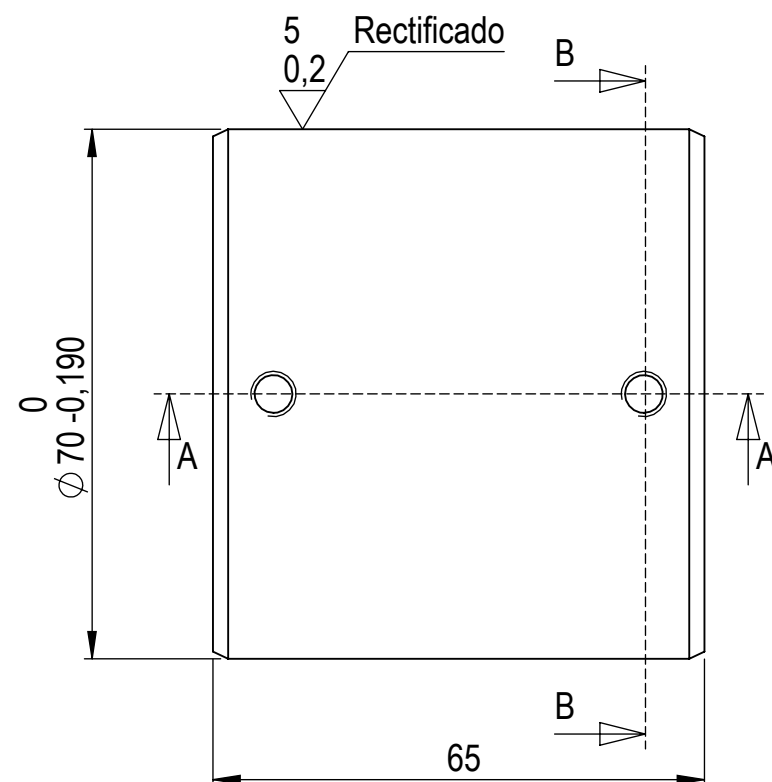
Observaciones		T3tulo: Protector del acoplamiento		Plano n312
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1



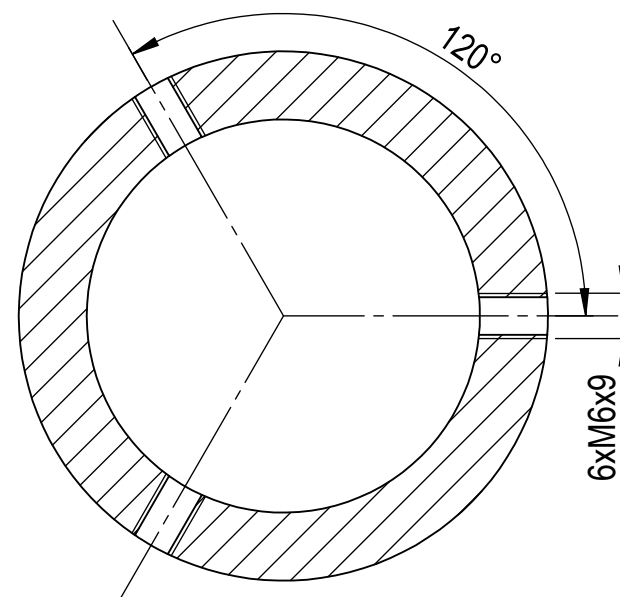
SECCIÓN A-A





DETALLE C
ESCALA 5 : 1

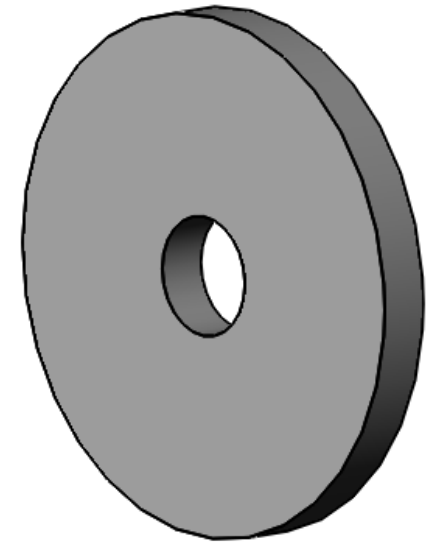
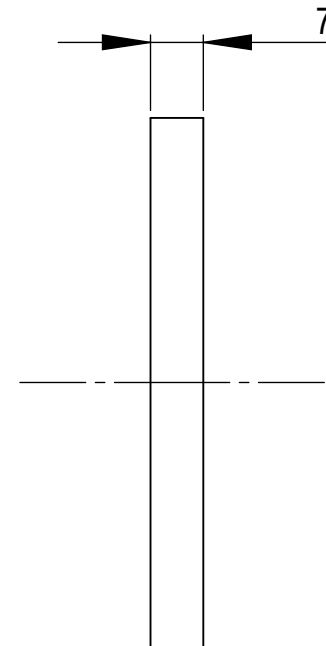
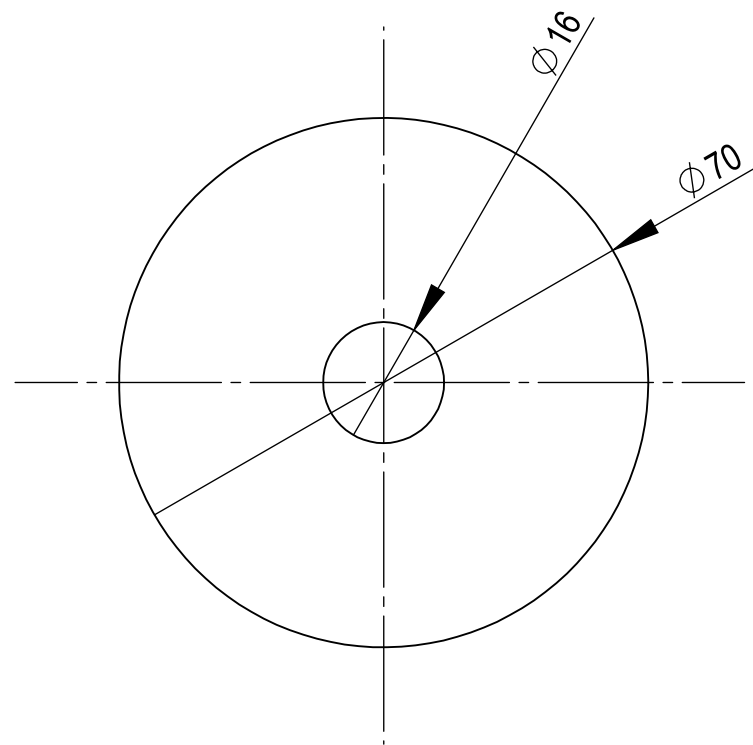


SECCIÓN B-B





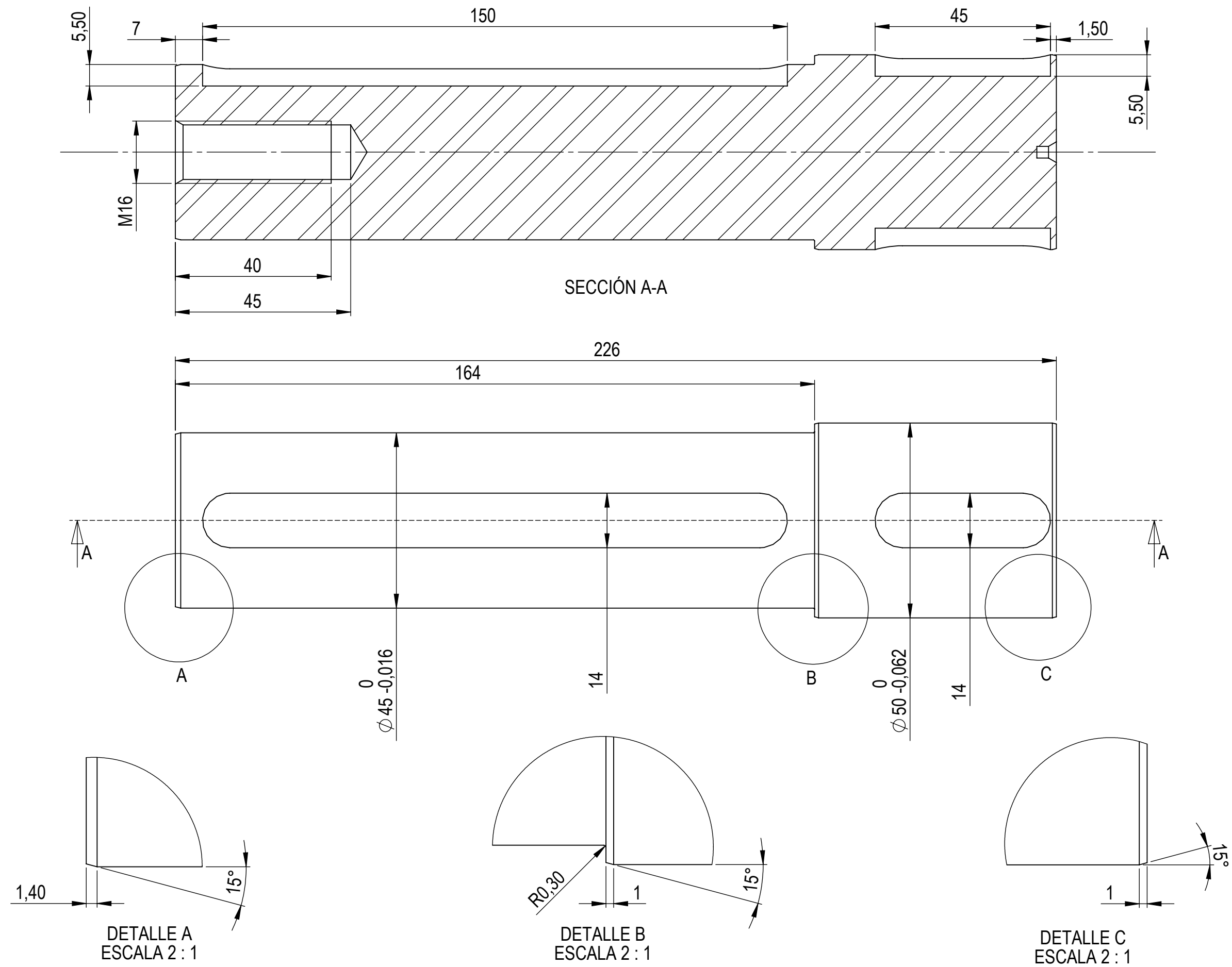
**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

Observaciones		Título: Camisa corta (lado bajo)		Plano nº13
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:1			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1





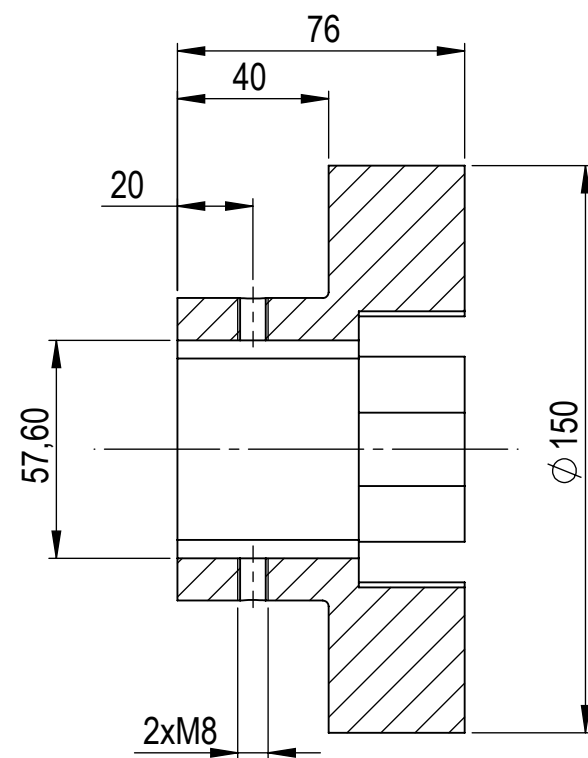
**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

Observaciones		T3tulo: Disco		Plano n3 14
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:1			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1

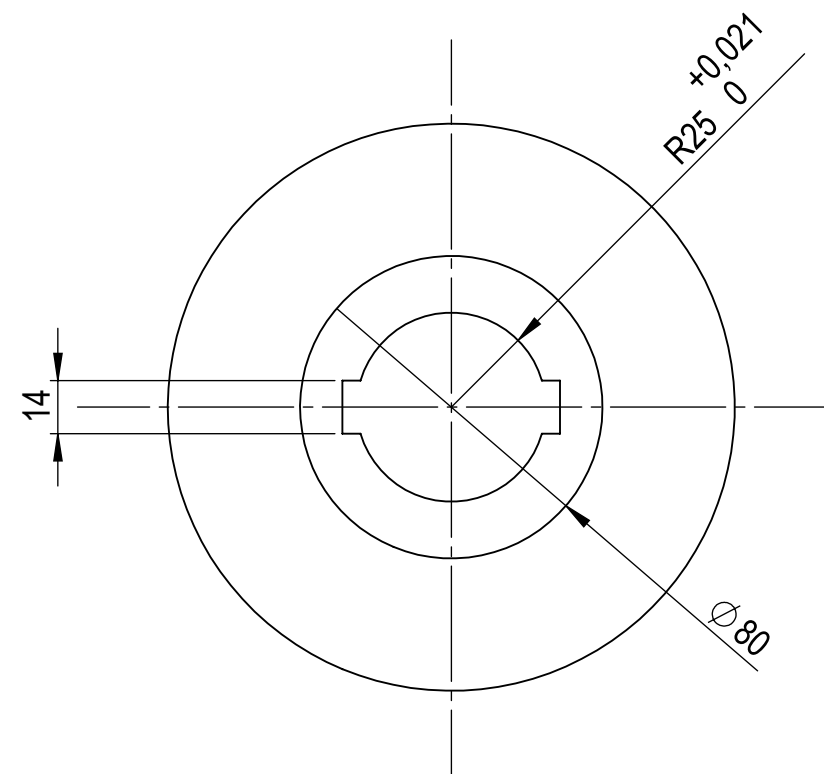
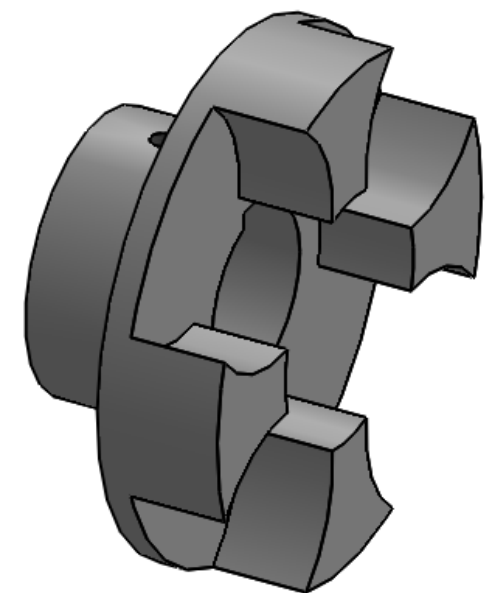
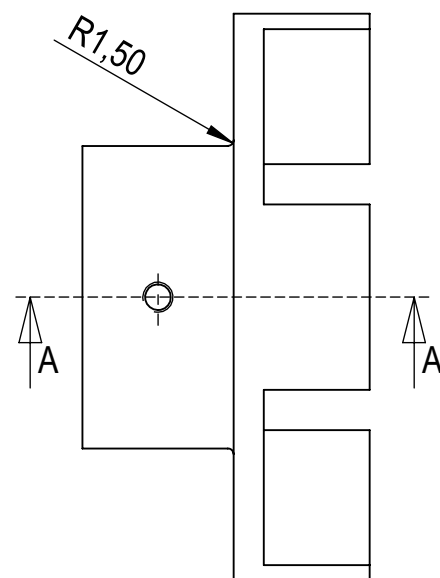


**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**



Observaciones		Título: Eje reductora		Plano nº15
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:1			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1

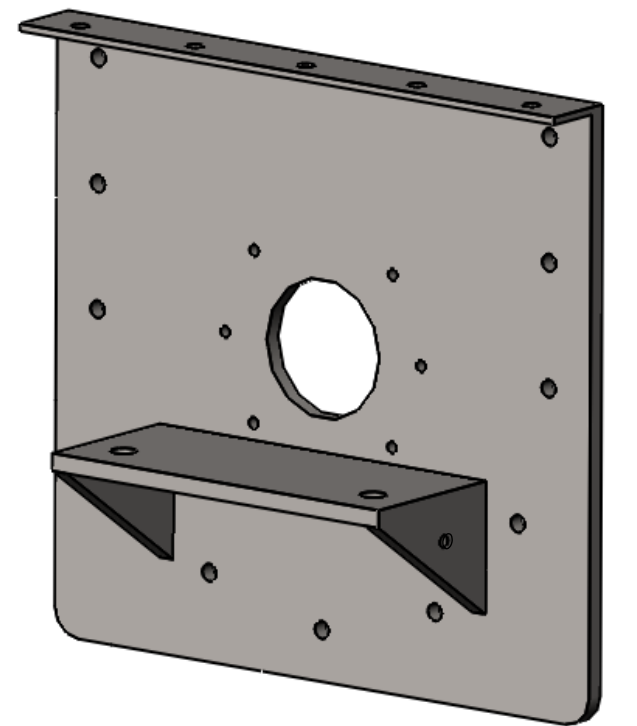
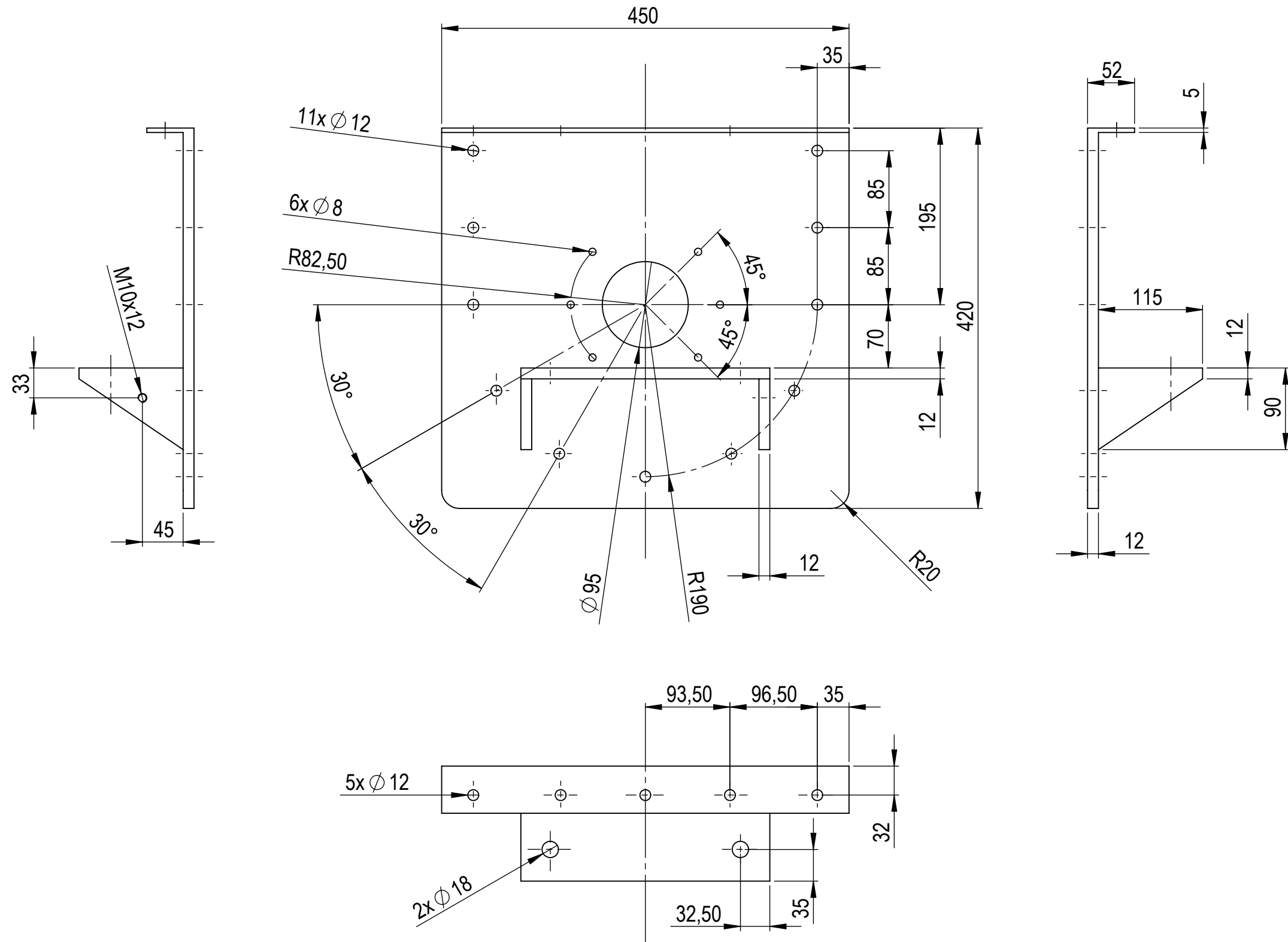


SECCIÓN A-A





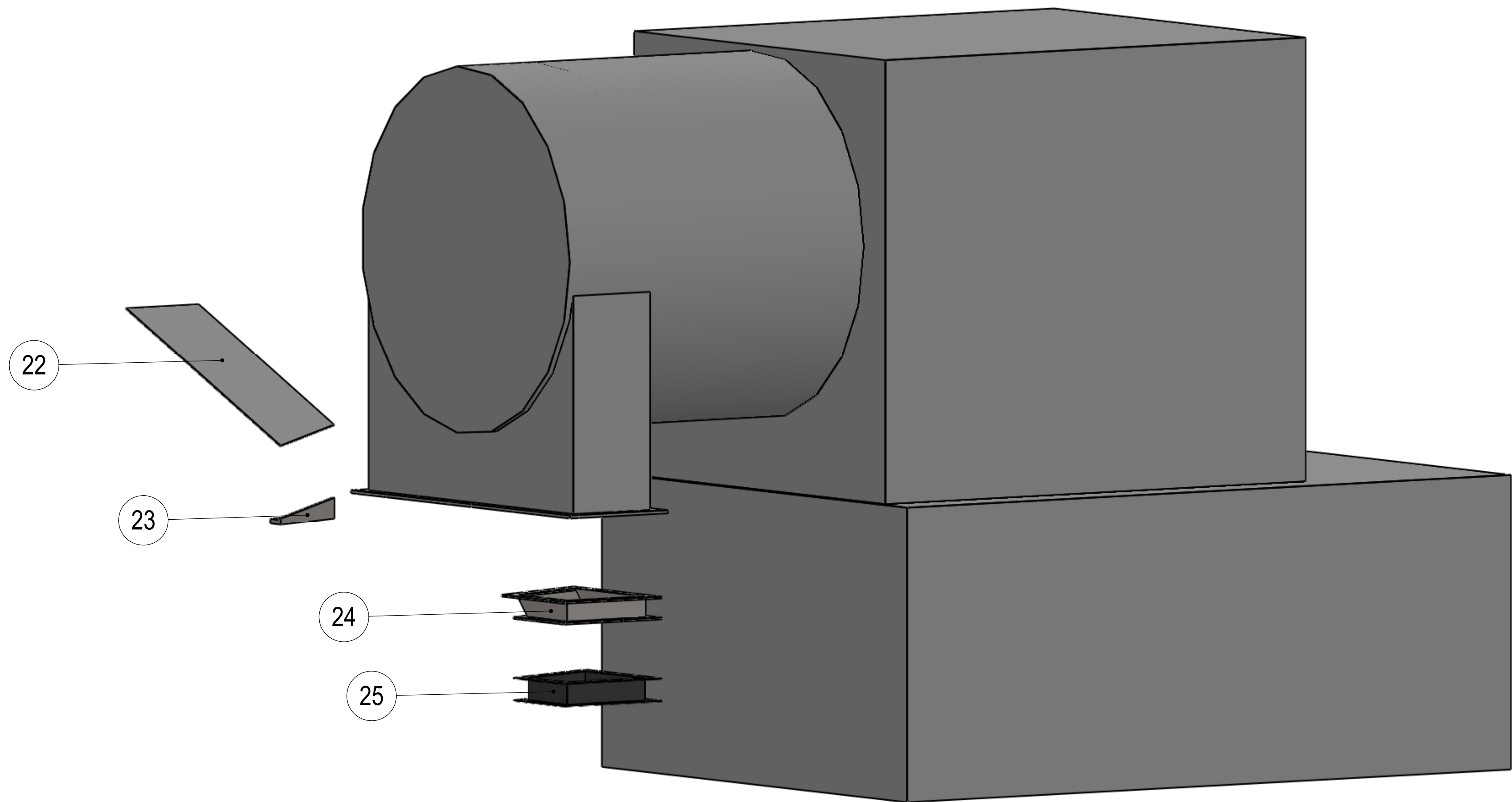
**Edición de estudiante de SolidWorks.
Sólo para uso académico.**

Observaciones		Título: Lado del acoplamiento		Plano nº 16
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jesús Ferrer Galindo	Rev 1





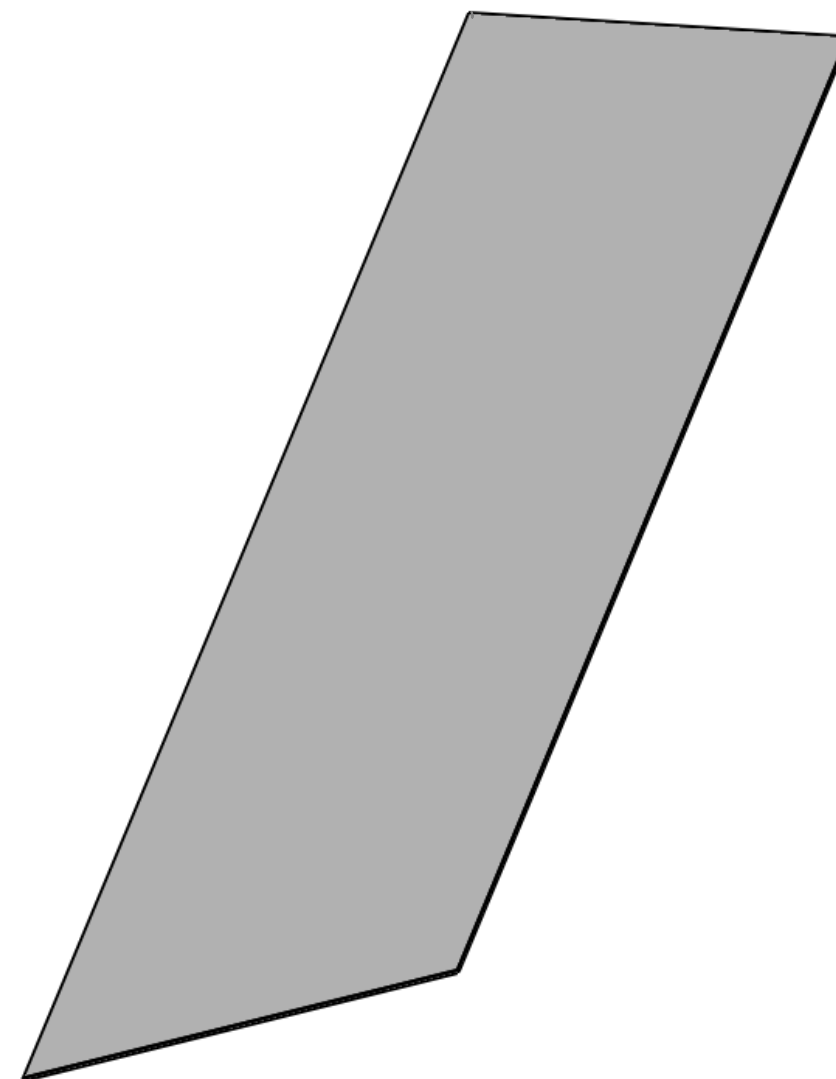
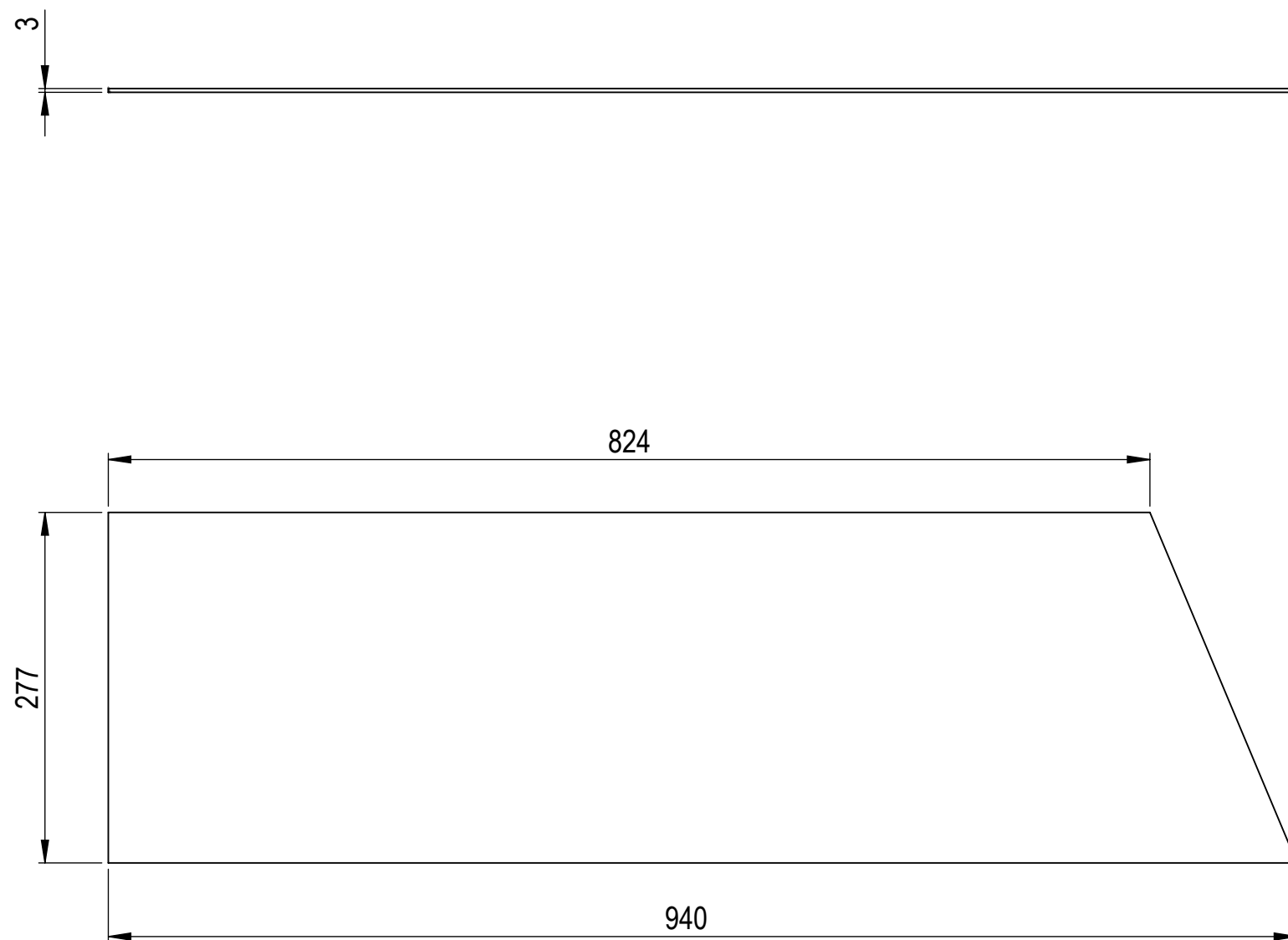
**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

Observaciones		T3tulo: Tapa lado alto transportador		Plano n3 17
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





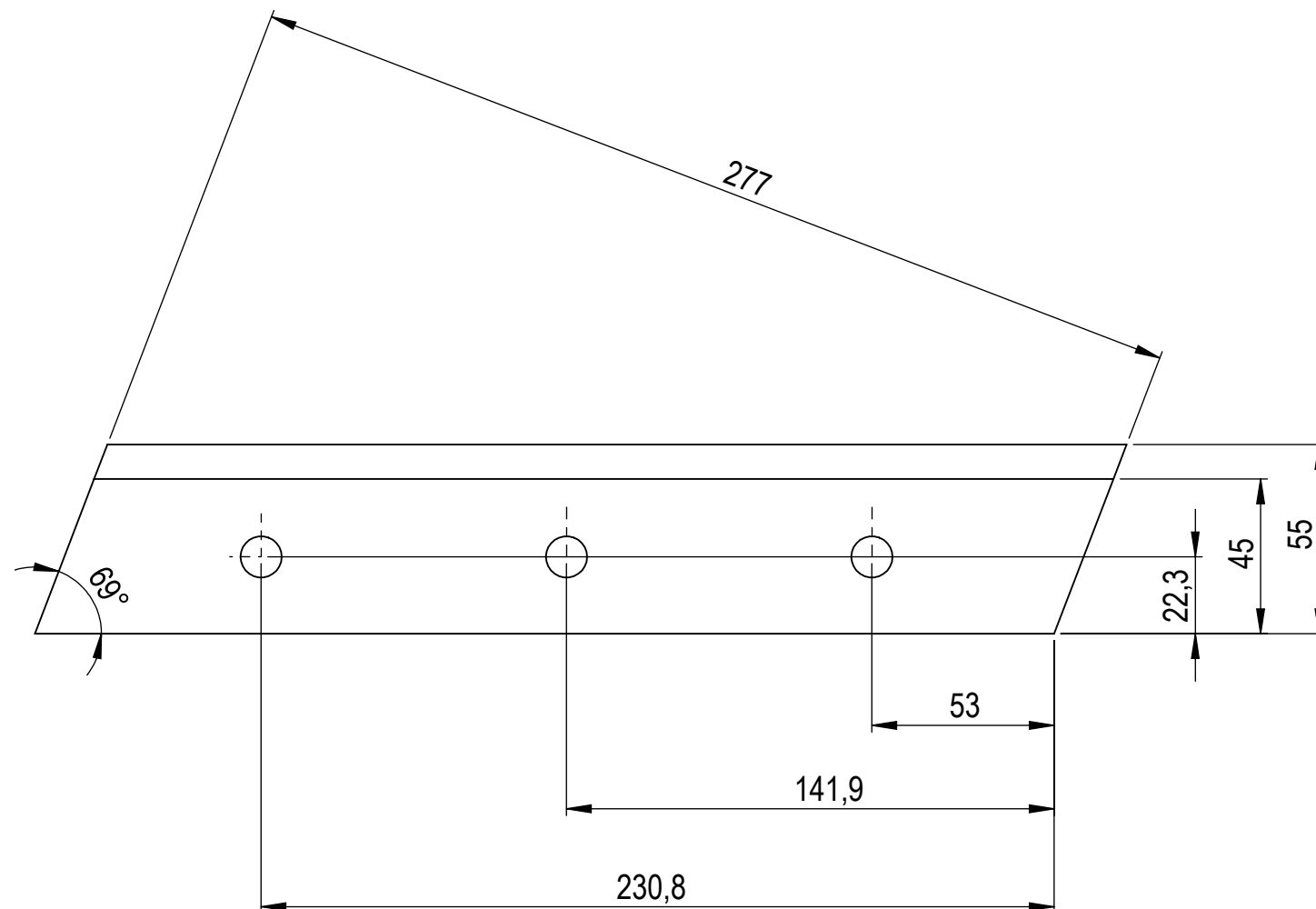
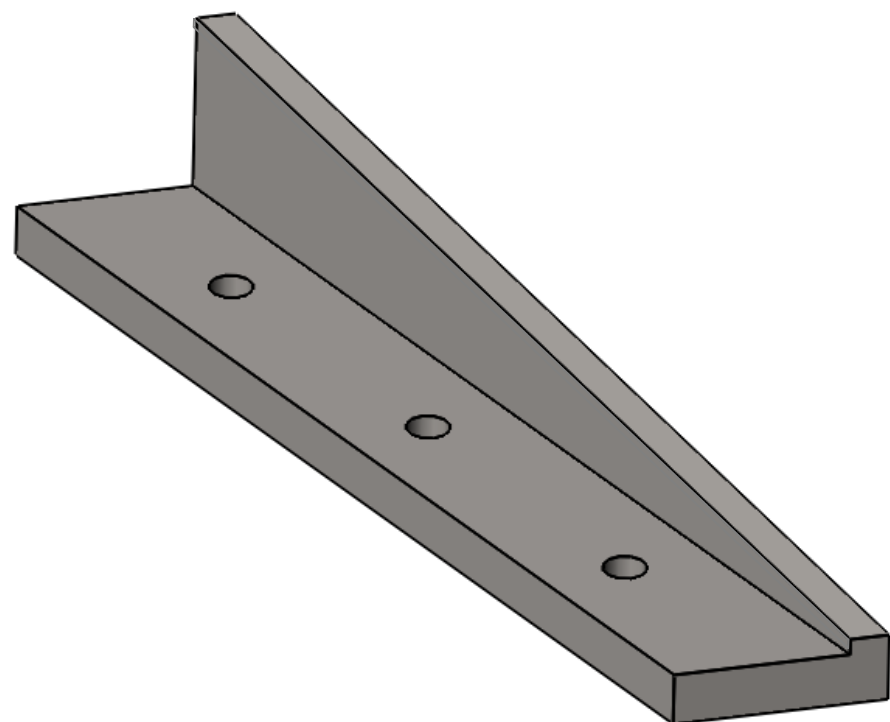
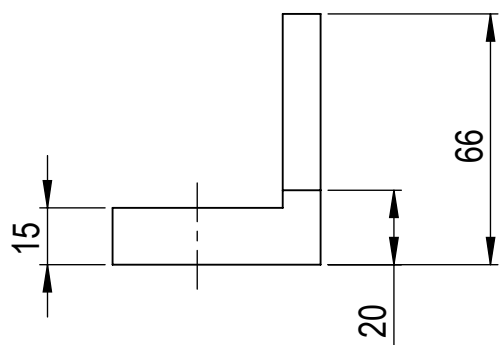
Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

25	Textil	Textil	23
24	Acople entre la tolva de la centr3fuga y el textil	AISI 304	22
23	Soporte de la chapa interior de la centr3fuga	AISI 304	21
22	Chapa interior centr3fuga	AISI 304	20
N3mero de piezas	Nombre de la pieza	Material	N3 de plano
Observaciones		T3tulo: Componentes modificados en la centr3fuga	Plano n3 19
Escala	Ud. Dim. mm.	 Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:10			Rev 1





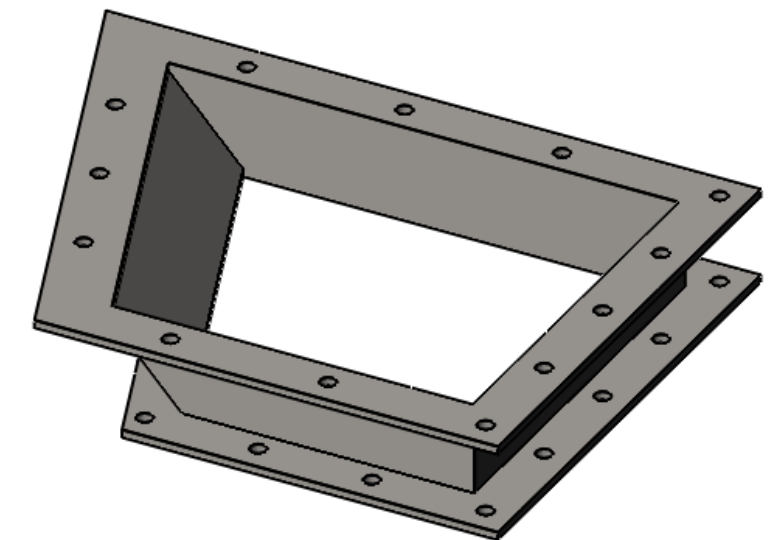
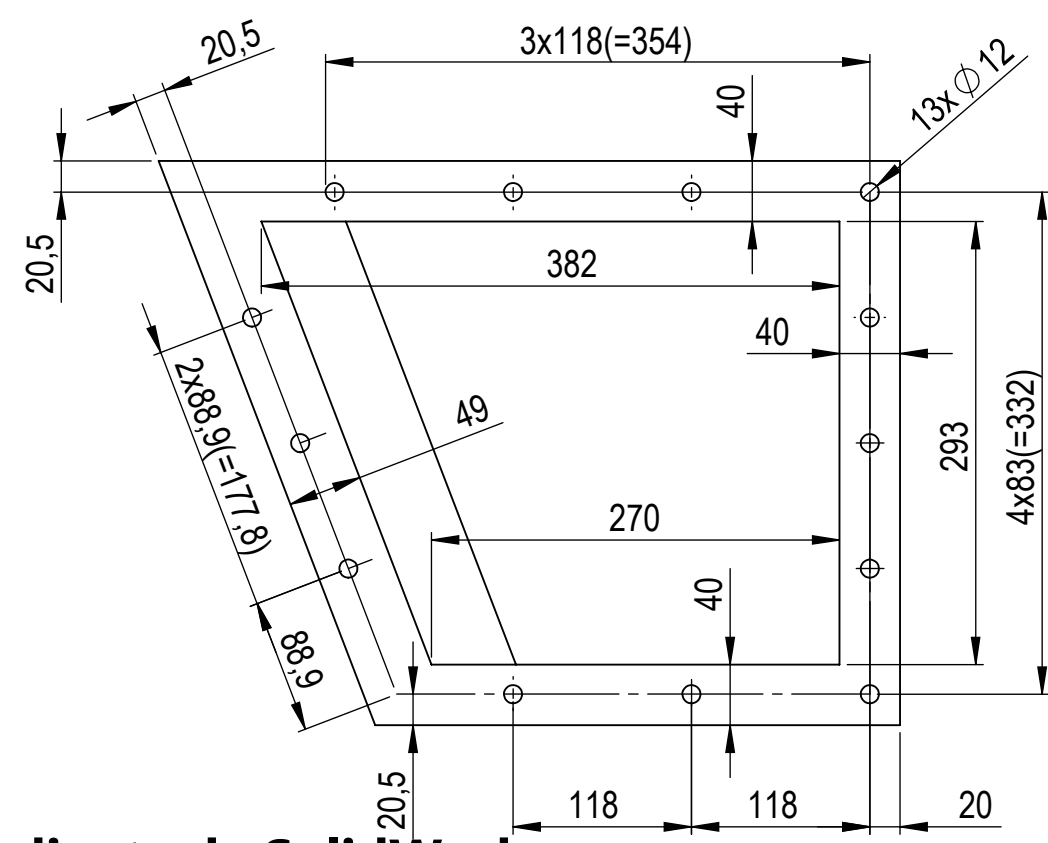
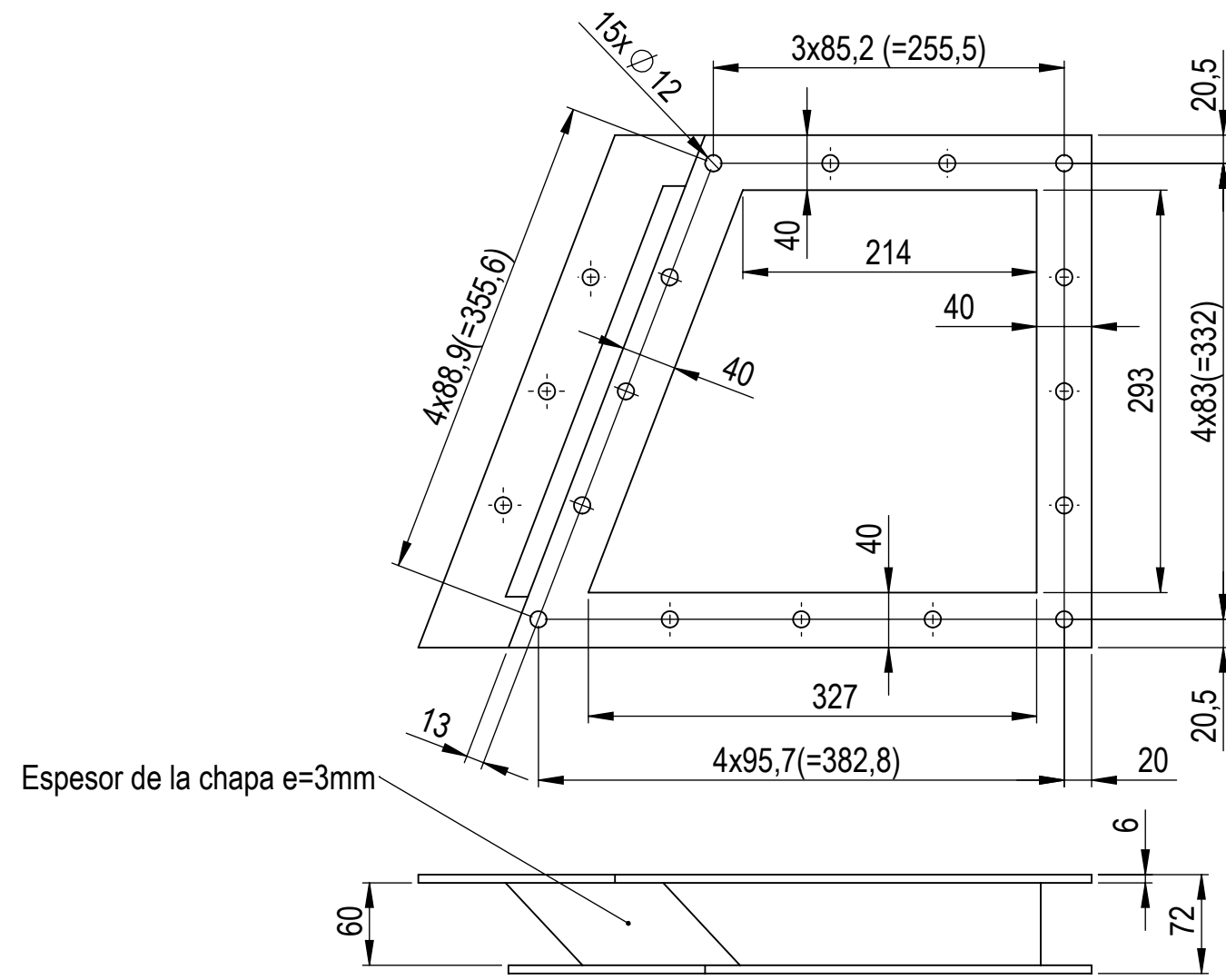
Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Chapa interior centr3fuga		Plano n320
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





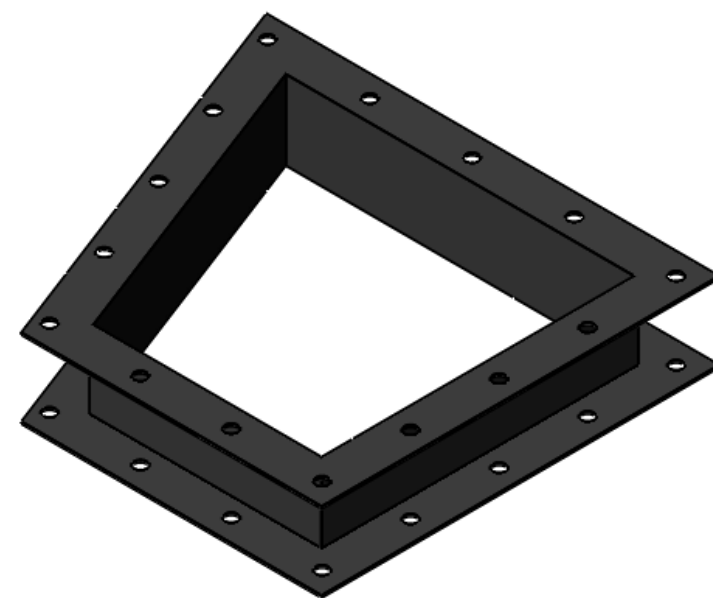
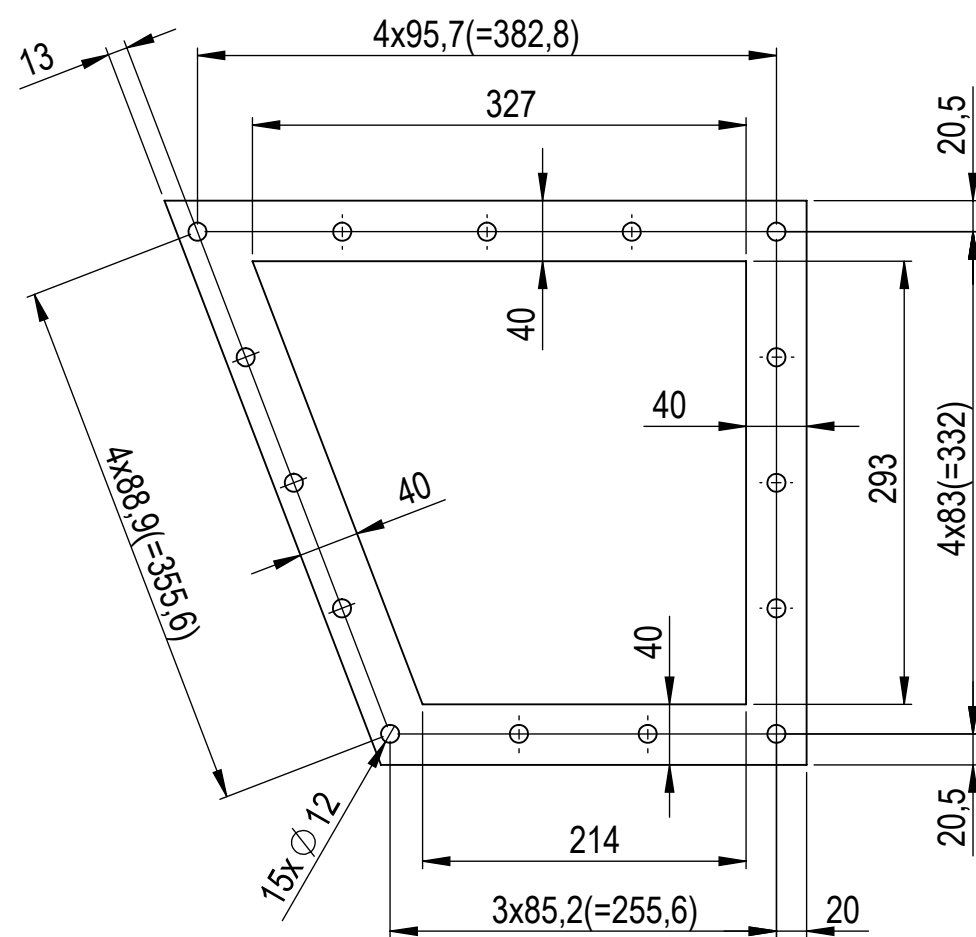
**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

Observaciones		T3tulo: Soporte de la chapa interior de la centr3fuga		Plano n3 21
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:2			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





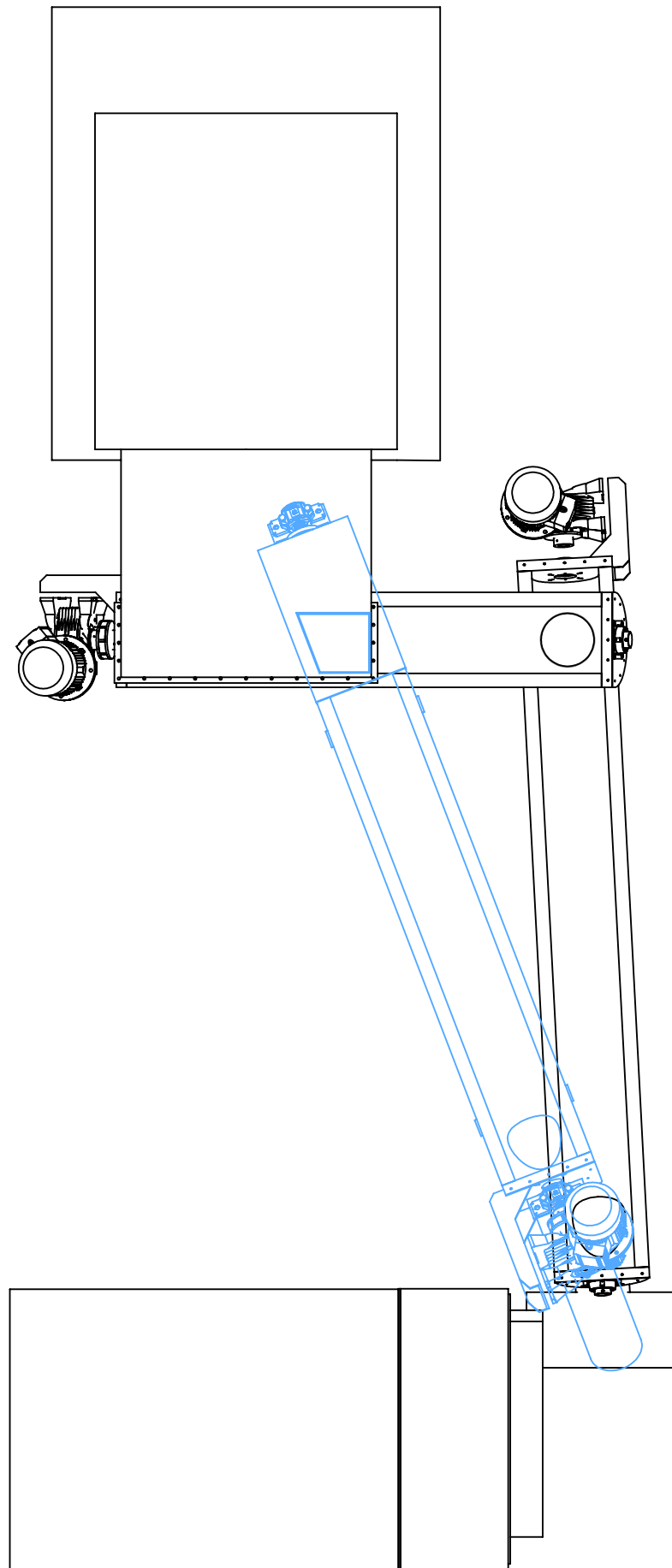
Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Acople centr3fuga textil		Plano n322
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





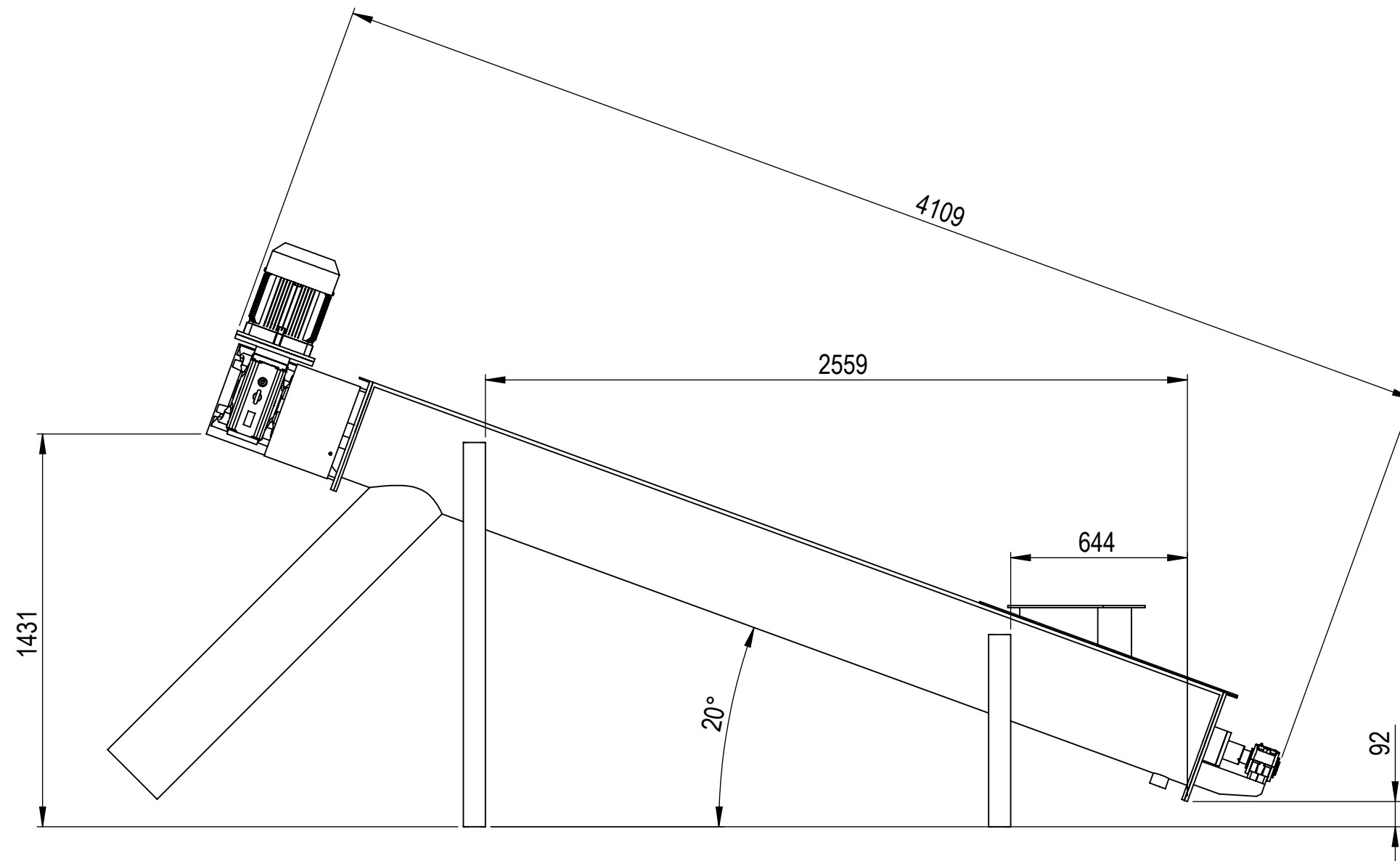
Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Textil uni3n centr3fuga - transportador		Plano n3 23
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:5			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





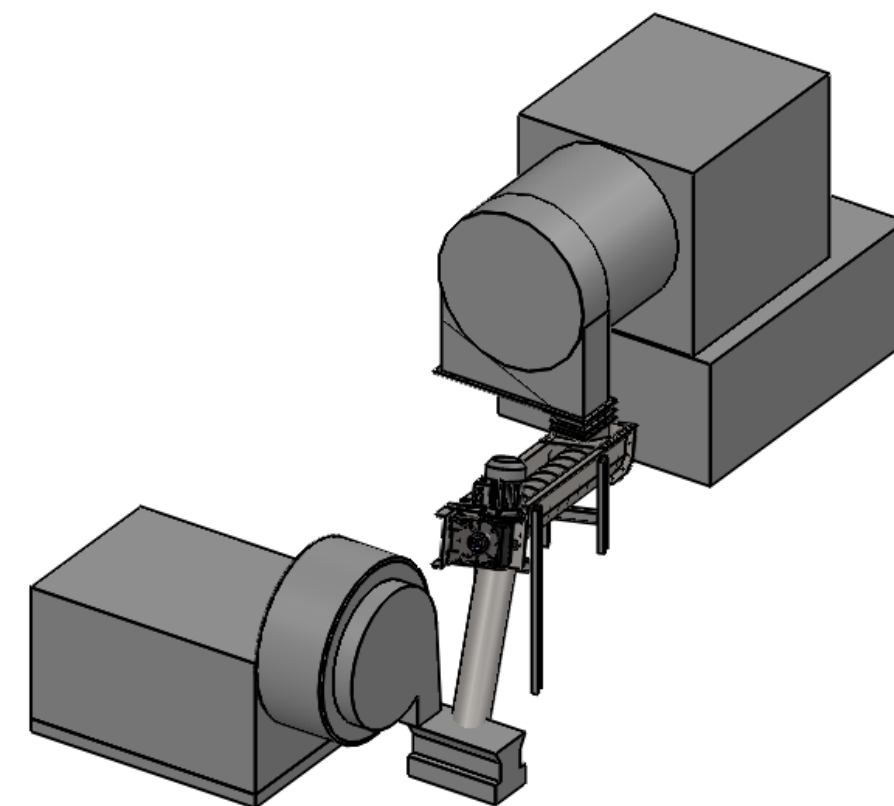
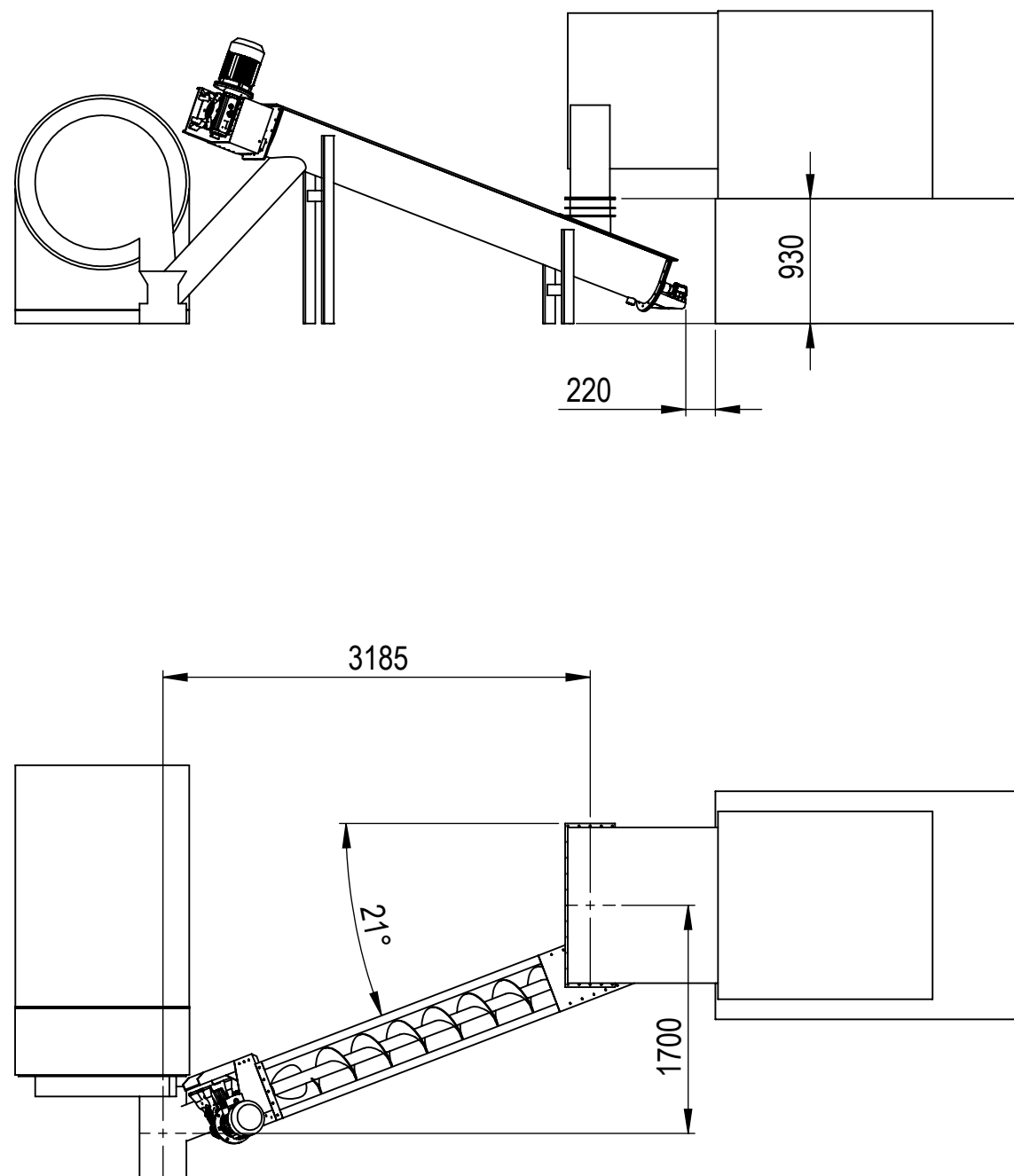
Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Comparaci3n antes/despu3s		Plano n3 24
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:30			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1





Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.

Observaciones		T3tulo: Transportador		Plano n3 25
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:20			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1



**Edici3n de estudiante de SolidWorks.
S3lo para uso acad3mico.**

Observaciones		T3tulo: Montaje completo		Plano n3 26
Escala	Ud. Dim. mm.		Realizado por: Cristian Benages Tosca	1/09/2016
1:50			Tutor: Jes3s Ferrer Galindo	Rev 1